RA2009-6

鉄 道 事 故 調 査 報 告 書

湘南モノレール株式会社　江の島線西鎌倉駅構内　鉄道物損事故

平成２１年 ６ 月２６日

運 輸 安 全 委 員 会

本報告書の調査は、本件鉄道事故に関し、運輸安全委員会設置法に基づき、運輸安全委員会により、鉄道事故及び事故に伴い発生した被害の原因を究明し、事故の防止及び被害の軽減に寄与することを目的として行われたものであり、事故の責任を問うために行われたものではない。

運 輸 安 全 委 員 会

委 員 長　後　藤　昇　弘

≪参　考≫

本報告書本文中に用いる分析の結果を表す用語の取扱いについて

本報告書の本文中「３　分　析」に用いる分析の結果を表す用語は、次のとおりとする。

① 断定できる場合
・・・「認められる」

② 断定できないが、ほぼ間違いない場合
・・・「推定される」

③ 可能性が高い場合
・・・「考えられる」

④ 可能性がある場合
・・・「可能性が考えられる」
・・・「可能性があると考えられる」

湘南モノレール株式会社 江の島線西鎌倉駅構内
鉄道物損事故

鉄道事故調査報告書

鉄道事業者名　湘南モノレール株式会社
事 故 種 別　鉄道物損事故
発 生 日 時　平成２０年２月２４日　９時５４分ごろ
発 生 場 所　神奈川県鎌倉市
　　　　　　　江の島線　西鎌倉駅構内

平成２１年 ６ 月 ８ 日
運輸安全委員会（鉄道部会）議決

目　次

添付資料

１　鉄道事故調査の経過

１．１　鉄道事故の概要

湘南モノレール株式会社の江の島線大船駅発湘南江の島駅行き３両編成の下り普通第９０９Ｓ列車は、平成２０年２月２４日（日）、湘南深沢駅を定刻（９時５０分）に出発した。

列車は、湘南深沢駅に到着するまでは特に異常はなかったが、同駅を出発する際に急加速し、その後、運転士がワンハンドルマスコンを力行位置としていないにもかかわらず加速する状態になった。列車は西鎌倉駅進入時にブレーキ力不足の状態となり、運転士は非常ブレーキ及び保安ブレーキを使用したが所定位置に停止せず、停止信号を現示していた同駅の下り出発信号機を冒進した。同下り列車は、その先の分岐器に衝突し、接近していた上り普通第９０４Ｓ列車の進路を支障して停止した。

一方、片瀬山駅を定刻より約３０秒遅れて（９時５２分３０秒ごろ）出発し、西鎌倉駅で同下り列車とすれ違う予定であった同上り列車の運転士は、同駅の約６０ｍ手前で同下り列車が西鎌倉駅の下り出発信号機を冒進してくるのを認めたため、非常ブレーキを使用し、同下り列車の約１９ｍ手前で停止した。

同下り列車の車両及び分岐器等の施設に物損が生じたが、双方の列車の乗客及び乗務員（同下り列車には乗客２２名及び乗務員２名、同上り列車には乗客１６名及び乗務員２名）には死傷者はなかった。

１．２　鉄道事故調査の概要

1.2.1　調査組織

本件は、鉄道事故等報告規則第４条第１項第３号の「列車が停止信号を冒進し、当該列車が本線における他の列車又は車両の進路を支障した事態」であり、国土交通省令[1]の定める調査対象に該当することから、重大インシデントとして調査を開始することとし、航空・鉄道事故調査委員会は、平成２０年２月２４日、本件の調査を担当する主管調査官ほか１名の鉄道事故調査官を指名し、平成２０年７月１日に１名、８月４日に１名、平成２１年４月１日に１名それぞれ鉄道事故調査官を追加指名した。

また、本件は平成２０年７月７日に被害額が確定し、鉄道事故等報告規則第３条第１項第７号の鉄道物損事故（列車又は車両の運転により５００万円以上の物損を

[1]　「国土交通省令」とは、「航空・鉄道事故調査委員会設置法第２条の２第４項の国土交通省令で定める重大な事故及び同条第５項の国土交通省令で定める事態を定める省令」第２条第３号を指す。なお、同省令は、平成２０年１０月１日、運輸安全委員会の発足に伴い「運輸安全委員会設置法施行規則」第２条第３号となった。

生じた事故）に分類されることになり、国土交通省令[2]の定める「特に異例と認められるもの」に該当するものとして調査を継続し、事故調査を行うこととした。

平成２０年１１月２０日、本事故の調査に従事する専門委員として

（財）鉄道総合技術研究所国際規格調査センター　担当部長　渡邉　朝紀

を任命し、調査するべき分野として「車両の電磁ノイズ環境」を指定した。

関東運輸局は、本事故調査の支援のため、職員を現場に派遣した。

1.2.2　調査の実施時期

平成２０年２月２４日	現場調査
平成２０年２月２５日	口述聴取及び車両調査
平成２０年２月２７日～８月１９日	車両調査
平成２０年２月２８日、４月１６日、 平成２０年７月１５日	現車走行試験
平成２０年２月２８日～３月　７　日、 ８月１８日～８月２５日	ディスクブレーキ工場内試験

1.2.3　原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

２　事実情報

２．１　運行の経過

事故に至るまでの経過は、湘南モノレール株式会社（以下「同社」という。）の下り普通第９０９Ｓ列車（以下「本件列車」という。）の運転士（以下「本件運転士」という。）、本件列車の車掌（以下「本件車掌」という。）、上り普通第９０４Ｓ列車（以下「対向列車」という。）の運転士（以下「対向運転士」という。）及び対向列車の車掌（以下「対向車掌」という。）の口述によれば、概略次のとおりであった。

(1)　本件運転士

当日は、車庫で５５０３号ほかからなる３両編成（以下「本件編成」という。）のブレーキ試験を行った後、９時１０分に湘南深沢駅へ出区し、以降は営業列車として湘南江の島駅まで行き、その後、本件編成で湘南江の島駅と大船駅間

[2]　「国土交通省令」とは、「航空・鉄道事故調査委員会設置法第２条の２第４項の国土交通省令で定める重大な事故及び同条第５項の国土交通省令で定める事態を定める省令」第１条第３号を指す。なお、同省令は、平成２０年１０月１日、運輸安全委員会の発足に伴い「運輸安全委員会設置法施行規則」第１条第３号となった。

を３往復していったん休憩するという行路であった。事故につながる車両の異常は、当日の行路で２度目の下り列車である本件列車が湘南深沢駅を発車した直後に発生した。

本件列車が湘南深沢駅を出発する際に、いつものようにワンハンドルマスコン[3]（以下「マスコン」という。）をブレーキ５ステップから力行１か２ノッチにすると列車が急加速したため、ブレーキ２ステップに入れて列車を減速させて速度約２０km/h で＃３２分岐器を通過した。その後ブレーキを緩めると、勝手に走ってしまうようだったのでブレーキ２か３ステップに入れながら速度を調節して走った。

車庫への＃３３分岐器（大船駅起点２ｋ８２０ｍ。以下「大船駅起点」は省略する。）あたりまではマスコンの入れ間違いかもしれないという意識があったので、マスコンを操作してみたが、やはりノッチオフ（力行もブレーキも作用しない位置）でも列車は再び加速した。車庫への＃３３分岐器の先は上り坂になっているが、ブレーキをかけていた。多分ブレーキ２ステップだったと思う。その先の鎌倉山変電所（３ｋ５００ｍ）あたりも、たぶんブレーキをかけながら通過していると思う。

車両の異常に気付いたが、すぐに列車を止めようとは思わなかった。最初はマスコンの入れ間違いか何かでノッチオフすれば戻るのではないかと思ったが、変わらなかった。おかしいとは思ったが、そのまま行ってしまった。最終的には非常ブレーキを使用すれば止まるかもしれないという思いがあったのかもしれない。

鎌倉山隧道内は制限速度（７５km/h）より低い６０km/h 程度で走行したが、下りこう配区間（３ｋ６５９ｍ～４ｋ００７ｍ、下り３２‰）ではブレーキ３ステップに入れた記憶がある。そのときに、ブレーキシリンダの空気圧（Brake Cylinder 圧。以下「ＢＣ圧」という。）は何 kPa を指していたかは覚えていないが、指針が横に振れていたと思う（指針が真横で２００kPa を指す）。隧道走行中に緑の表示灯（戸閉）の近くで黄色の表示灯が点灯したのを見た覚えがあるが、黄色の表示灯は「電制」と「ＡＴＳセット」の２つがあり、「電制」表示灯が点灯していたかどうかはわからない。

鎌倉山隧道を出て、通常の運転ではブレーキ１ステップに入れ始める支柱番号深西２９（４ｋ２３１ｍ。以下「支柱番号」を省略する。）付近でブレーキ４ステップに入れて、深西３４（４ｋ３７２ｍ）か深西３５（４ｋ３９８ｍ）で

[3] 「ワンハンドルマスコン」とは、列車の加減速を制御する主幹制御器とブレーキハンドルを一つのハンドルで操作可能にしたものをいう。

５ステップ（常用最大）に入れたが、ブレーキはほとんど効かず、深西３５のあたりで、「ブレーキが効かない」と声が出た。

深西４０（４ｋ５０６ｍ）～深西４１（４ｋ５２８ｍ）の辺りでは、マスコンを非常ブレーキ位置としたが、それでも十分に減速せず、西鎌倉駅下り場内信号機（４ｋ５５４ｍ）付近で、先頭運転室に同乗している本件車掌[4]が右側（前後左右は列車の進行方向を基準とする。）にある非常ブレーキ引きスイッチを扱うのが見えた。自分も左側の非常ブレーキ引きスイッチを扱い、続いて保安ブレーキ[5]スイッチを扱ったが列車はほとんど減速せず、速度３０～３５km/h くらいで西鎌倉駅に進入していった。なお、西鎌倉駅下り場内信号機は警戒信号を現示していた。

本件車掌は乗客に危険を知らせるため、客室へ行った。列車はそのまま西鎌倉駅のホームを２０～３０km/h くらいの速度で通過して、その先にある＃４６分岐器に２０km/h くらいの速度で衝突して停止した。衝撃はかなりあったが、マスコンをつかんでいたので怪我はしなかった。その後、列車無線で指令に状況を報告した。

なお、本件編成を出区させてから、本件列車として湘南深沢駅に停止するまでは、車両に異常は感じなかった。

(2)　本件車掌

本件列車に乗務中、湘南深沢駅で集札を終え先頭運転室に乗車した。湘南深沢駅を発車し＃３２分岐器を通過する直前に、普段より急な加速があり普段はブレーキをかける場所ではないが本件運転士がブレーキをかけた。その際に、「キー」という音がした。その後、車庫への＃３３分岐器付近まではぎこちない運転であったが、それを過ぎて上りこう配区間に入ると「キー」という音はしなくなり、また、極端な速度低下もなく、通常の運転で登っていたと思う。

鎌倉山隧道内では、いつもは力行して速度を上げることが多いが本件列車はあまり速度を上げずに走行していた。体感で遅いと思ったので隧道出口の３０～４０ｍ手前で運転台の方を見ると、本件運転士がブレーキ１～３ステップに入れているので「どうしたのだろう」と思った。そのとき、速度計を見ると、速度は６０km/h 弱であった。また、ブレーキの「キー」という音がした。その後も、遠方信号機（４ｋ４４０ｍ）付近までは速度を超過しているとは思わなかった。

---

[4] 湘南モノレールでは車掌が無人駅の集札業務を行う。湘南深沢駅及び西鎌倉駅は、いずれもホーム階段が湘南江の島駅寄りにあるため、下り列車の湘南深沢駅～西鎌倉駅間は、車掌は先頭運転室に乗務する。

[5] 「保安ブレーキ」とは、常用・非常ブレーキ系に異常が生じて使用できない場合に使用するために設けられたブレーキをいい、指令回路や空気源などが常用・非常ブレーキ系とは独立して設けられている。

西鎌倉駅下り場内信号機付近で、本件運転士が「ブレーキが効かない」と言ったので本件運転士の方を見ると、確かにマスコンは非常ブレーキ位置にあったが、体感ではブレーキがほとんど効いていない状態であった。急いで右側にある非常ブレーキ引きスイッチを扱ったが、減速する感覚はほとんどなかった。

本件運転士は左側の非常ブレーキ引きスイッチに続いて保安ブレーキスイッチを扱ったが、それでも減速する感覚はほとんどなかった。

本件列車が西鎌倉駅のホームに接近し、このままでは衝突すると思い、客室に入って乗客に衝突に備えて手すり等につかまるように注意喚起した。乗客は２２名乗車しており、全員着席していた。１両目（車両は前から数える。）から２両目と移り、３両目の乗客には２両目の貫通路から注意喚起した。その後、先頭運転室に戻ろうと２両目の車内を移動しているときに、本件列車は西鎌倉駅の＃４６分岐器に衝突した。衝突の衝撃はかなり大きかった。

衝突後、全車両を回りお客さまの怪我の有無を確認したところ、怪我をされたお客さまはいなかった。また、避難経路を確認したところ、本件列車は西鎌倉駅ホームを完全に抜けていたが、３両目最後部の乗務員扉が作業用の通路にかかっていた。

(3)　対向運転士

対向列車は片瀬山駅を約３０秒遅れて出発し、西鎌倉駅に進入するため上り場内信号機の警戒信号現示の制限速度である２５㎞/h に減速、続いてその先にある＃４６分岐器の制限速度２０㎞/h に合わせて減速していた。そのとき、本件列車が西鎌倉駅のホームを過ぎてもなお十分に減速せずにこちらに向かってくるのが見えたので、とっさに非常ブレーキを使用し本件列車の約１９m手前に停止した。非常ブレーキを使用したときの速度は既に２５㎞/h 以下であったので、大きな衝撃はなかった。停止後、車内電話で対向車掌に状況を伝え、その後、列車無線で指令に報告した。

(4)　対向車掌

対向列車は片瀬山駅を約３０秒遅れて出発後、通常の運転で西鎌倉駅手前まで走行していたが、ホームに進入する際にいつもより早く減速し、＃４６分岐器の手前で停止した。直後に対向運転士から車内電話で、（西鎌倉駅で行き違い予定の）本件列車が＃４６分岐器まで過走して停止したため緊急停止したとの連絡があった。停止時に大きな衝撃はなく、立っていても平気なくらいであった。

なお、本事故の発生時刻は、９時５４分ごろであった。

（付図１　江の島線路線図、付図２　事故現場付近の地形図、付図３　事故現場略図、付図４　事故発生後の状況、付図５　懸垂式モノレールの軌道及び台車の構

造　参照）

２．２　人の死亡、行方不明及び負傷

なし

２．３　鉄道施設及び車両等に関する情報

2.3.1　鉄道施設

2.3.1.1 概要

同社の江の島線（６．６㎞）は、大船駅と湘南江の島駅を結ぶ単線の懸垂式鉄道である。駅数は８駅で、それらのうち本事故の発生現場である西鎌倉駅を含む４駅に行き違い設備がある。また、湘南深沢駅から車庫線が分岐している。

（付図１　江の島線路線図　参照）

2.3.1.2　軌道

線路は全線高架構造で、最急こう配は７４‰、最小曲線半径は構内５０ｍ、本線９０ｍである。本事故が発生した西鎌倉駅構内の平面線形は分岐器部分が半径５０ｍの曲線、ホーム部分が直線で、縦断線形は水平である。西鎌倉駅下り出発信号機は４ｋ７７３ｍ地点にある。鎌倉山隧道から西鎌倉駅にかけては、最大で７４‰の下りこう配区間となっており、西鎌倉駅手前の４ｋ６３７ｍから衝突地点である４ｋ８１４ｍまでは水平である。

湘南深沢駅～西鎌倉駅間の軌道については、直近では平成１９年１２月６日～平成２０年２月２１日にかけて検査が行われており、これらの検査記録に異常は認められなかった。

（付図６　湘南深沢駅～西鎌倉駅間の線路縦断面、曲線半径及び軌道回路　参照）

2.3.1.3　在線の検知

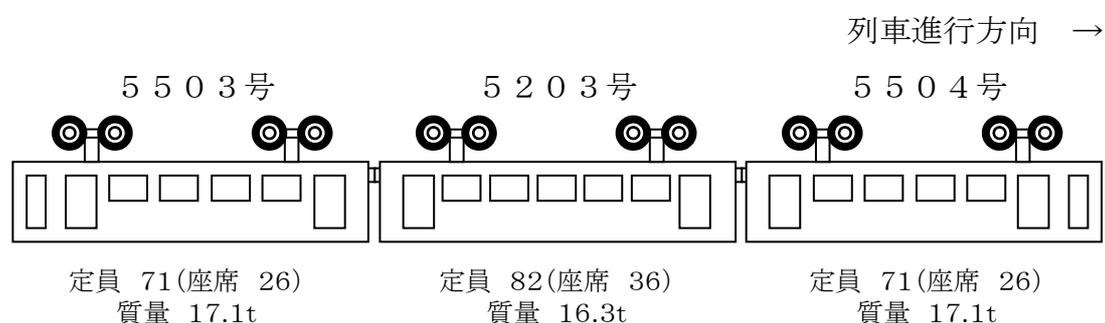
江の島線の閉そく方式は単線自動閉そく式であり、車両の在線は、鋼軌道内の左右両方に設けられている負電車線が、車両の左右両側にある負パンタグラフにより短絡されることにより連続的に検知されている。

（付図５　懸垂式モノレールの軌道及び台車の構造、付図７　大船駅～西鎌倉駅間の軌道回路、付図８　負パンタグラフ及び接地ブラシの配置　参照）

2.3.2　車両

2.3.2.1　概要

車　　種　　　　　直流電車（１，５００Ｖ）

編成両数　　　　　３両（全電動車）
編成定員　　　　　２２４名（座席定員８８名）
記号番号

（付図９　５０００系車両形式図　参照）

本件編成は同社５０００系の２次車（以下、単に「２次車」という。）で、三菱重工業（株）（以下「本件車両メーカー」という。）及び三菱電機（株）（以下「本件電機メーカー」という。）による「湘南モノレール車両製作共同企業体」が製造し、本事故発生の約２ヶ月半前の平成１９年１２月より営業運転を開始した。平成１６年６月に導入された５０００系の１次車（以下、単に「１次車」という。）と本件編成は、基本設計及び走行性能は同一である。なお、１次車に関しては、本事故発生時点まで異常な力行動作やブレーキ力が不足するような車両トラブルは発生していない。

2.3.2.2　主回路

本件編成の主回路は、直流１，５００ＶをＶＶＶＦインバータ[6]により３相交流に変換し、３相誘導電動機を駆動する方式である。３両編成全車が電動車で、走行用に１２台の主電動機が搭載されている。本件編成のＶＶＶＦインバータは、１両目である５５０４号と３両目である５５０３号に搭載され、それぞれ自車の主電動機４台と中間車である５２０３号の主電動機２台の計６台を制御している。

2.3.2.3　制御回路

本件編成の制御回路はマスコンによるマニュアル操作で、力行は４ノッチまである。マスコンからの力行指令を受けたＶＶＶＦインバータは、加速制御のシーケンスをソフトウェアで処理してトルク指令を出し、力行ノッチに応じたトルクを発生させ、列車を加速させる。

[6] 「ＶＶＶＦインバータ」とは、電圧及び周波数ともに変えることが可能なインバータ（直流を交流に変換する装置）をいう。

本件編成の加速制御のシーケンスには戻しノッチ機能[7]がないため、いったん投入された力行指令は高位の指令があるか、又は、ノッチオフされるまで保持される。なお、４ノッチから１ノッチ、又は２ノッチに戻すと、走行速度が１５km/h 以上の場合は操作時の速度を基準として一定の速度を保つ定速モードに入る仕組みとなっている。

本事故が発生した湘南深沢駅～西鎌倉駅間を運転する場合、通常は３又は４ノッチで力行する。

本件編成の力行ノッチと加圧される指令線の関係を表１に示す。

表１　力行ノッチと加圧される指令線の関係

		マスコン設定							
		後進※(湘南江の島駅→大船駅)				前進※(大船駅→湘南江の島駅)			
		1	2	3	4	1	2	3	4
指令線番号	2	○	○	○	○	－	－	－	－
	3	－	－	－	－	○	○	○	○
	4	－	○	○	○	－	○	○	○
	5	－	－	○	○	－	－	○	○
	8	－	－	－	○	－	－	－	○

※　前進、後進は、本報告書の定義による。

2.3.2.4　加減速制御プログラムとウォッチドッグタイマによる保護動作

本件編成のＶＶＶＦインバータのゲート制御装置は、加減速シーケンス処理等のゲート制御装置の動作を監視し、異常があった場合に保護動作を働かせるウォッチドッグタイマ（以下「ＷＤＴ」という。）を有している。図１に示すように、ＷＤＴはリセットを受けてから一定時間以内に次のリセットを受けない場合に保護動作として主回路の電流をいったん遮断してからＶＶＶＦインバータ制御のメインプログラムを再起動させる。

なお、ＷＤＴは、コンピューターを使った制御システムにおいて、ソフトウェアの処理の異常を監視するための技術として一般的に使われているものである。

図１に示す本件編成の本事故発生時におけるＶＶＶＦインバータ制御のメインプログラムは、加減速シーケンス処理が実行されないとき（カウンタの値が９以下のとき）はＷＤＴリセット出力を繰り返すようになっていた。１ms 間隔のタイマー割

7　「戻しノッチ機能」とは、高位のノッチから低位のノッチに戻すと、直接戻した低位のノッチ指令に移行する機能をいう。

り込みで更新されるカウンタの値が１０になる（１０ms 経過）と加減速シーケンス処理が実行され、その間はWＤＴリセット処理が実行されない。そのため、加減速シーケンス処理に一定時間以上要するような異常が発生したときはWＤＴの保護動作が働き、主回路の電流をいったん遮断してからＶＶＶＦインバータ制御のメインプログラムを再起動させる仕組みとなっていた。

一方、図１に示すように、ＶＶＶＦインバータ制御プログラムにおいて不正割り込みが発生した場合、タイマー割り込みを含む他の割り込みを禁止してメインプログラムに戻る。この場合、加減速シーケンス処理起動カウンタが更新されなくなるため、加減速シーケンス処理が実行されずにWＤＴリセット出力を繰り返すこととなる。

運転台からのマスコン指令は、加減速シーケンス処理により速度や荷重等の情報とともに演算されてモーターのトルク指令値となる。したがって、何らかの理由により不正割り込みが発生し、加減速シーケンス処理が実行されなくなると、運転士の操作がモーターのトルク指令値に反映されず、かつ、WＤＴによる保護動作が働かないために、列車の加減速を決めるモーターの駆動力は、不正割り込みが発生する直前の状態を継続する仕組みとなっていた。

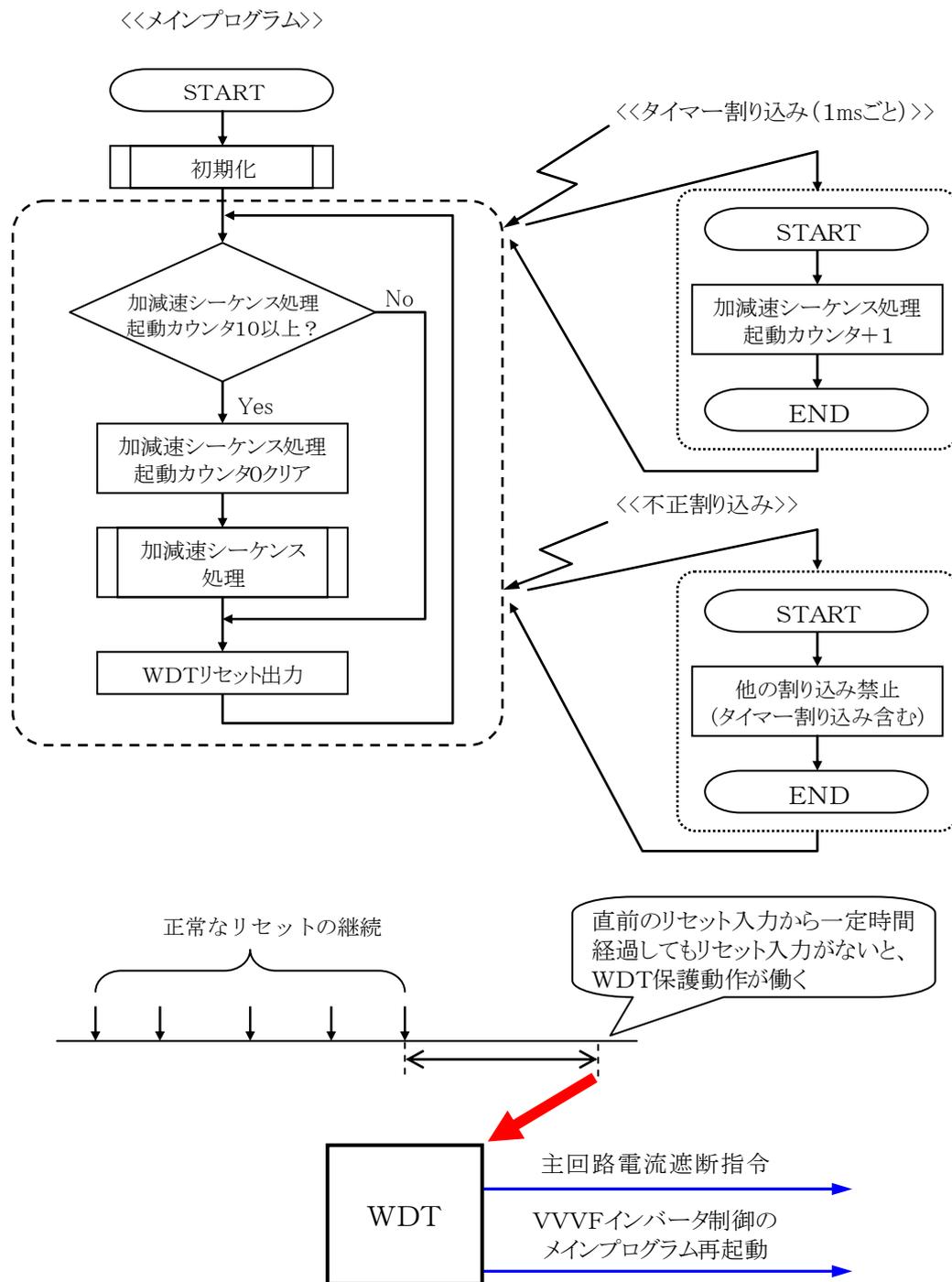



図１　５０００系のＶＶＶＦインバータ制御プログラム（加減速制御関係）及び
ＷＤＴの概要

2.3.2.5　低圧回路の車体接地線

本件編成の力行やドアの開閉等の制御を行う引き通し指令線は、直流１００Ｖの低圧回路となっている。この電源となるバッテリーは５５０４号の屋根上に搭載され、マイナス極は引き通し線を経由して５２０３号で車体に接続されている。また、低圧機器のマイナス極側は車体に接続されているため、低圧機器の帰線電流は車体

を経由してバッテリーのマイナス極に流れることになる。以下、本報告書では、車体に接続されている側の直流１００Ｖ回路の電線を「低圧車体接地線」ということとする。なお、本件編成の車体及び低圧車体接地線は、走行時は接地されておらず、駅停車時においてのみ、台車に取り付けられた接地ブラシを介して接地される仕組みとなっている。

基準となる‘低圧車体接地線の引き通し線’（以下「１００線」という。他の引き通し線についても同様に表記する。）は、線番号が「１００」であり、車両内は１４㎟の電線１本で引き通され、各車の屋根上の車端にある２箇所の低圧ツナギ箱又は運転台背面配電盤内の接地板を介してそれぞれ車体に接続されている。また、車両間はジャンパ連結器内の２．０㎟の電線６本で接続されている。

各機器の低圧車体接地線は機器の系統別にまとめられ、「１００ｘ」（ｘはａ～ｌのアルファベット１文字）の線番号がついている。１００ｘ線は車両内は１．２５㎟の電線で引き通され、車両間はそれぞれジャンパ連結器内の１．２５㎟の電線１本で接続されている。また、本件編成の１００ｘ線は、バッテリーの低圧車体接地線である１００ｅ線が５２０３号、その他の１００ｘ線が５５０３号か５５０４号いずれか一方の車両の１箇所の低圧ツナギ箱内で接地板を介して車体に接続されており、各車両ごとには車体に接続されていない。

ＶＶＶＦインバータの低圧車体接地線は１００ａ線であり、５５０３号で車体に接続されている。また、１００ａ線は、ＶＶＶＦインバータの内部では空ノッチ試験[8]や絶縁抵抗測定のときに使用する「試験スイッチ」を境界として、１００ＣＡ線となる。

（付図８　負パンタグラフ及び接地ブラシの配置、付図１０　低圧車体接地線系統図（抜粋）　参照）

2.3.2.6　ブレーキシステム

本件編成には、常用、非常及び保安の３系統のブレーキシステムが装備されている。（この他に、車庫等に留置する際に転動を防止するための留置ブレーキがあるが、走行している車両を停止させる性能はない。）各ブレーキの特徴は、以下のとおりである。

(1)　常用ブレーキは、回生ブレーキと空気ブレーキを併用している。主として回生ブレーキが作用するが、回生電流が立ち上がっていないブレーキ開始時と停止直前には空気ブレーキが作用する。

---

[8] 「空ノッチ試験」とは、主回路を電源から切り離した状態で力行指令を与え、主回路の制御装置を作動させ、制御回路の動作シーケンスを確認する試験をいう。

(2)　回生ブレーキ作用中は、空気ブレーキにはＢＣ圧約３０kPa の初込め圧[9]が作用する。

(3)　回生ブレーキ作用中は、運転台右側にある表示灯群の中にある黄色の「電制」表示灯が点灯する。

(4)　各運転台には、回生ブレーキの開放用のスイッチとして‘「電制ブレーキ」スイッチ’（以下「電制スイッチ」という。）が設けられている。このスイッチを「切」とすると、常用ブレーキにおいても回生ブレーキは作用せず、常に空気ブレーキのみが作用する。

(5)　非常及び保安ブレーキでは、空気ブレーキのみが作用する。

(6)　ブレーキ指令はすべて電気指令となっている。常用及び保安ブレーキは指令線の加圧で動作し、非常ブレーキは常時加圧された指令線が無加圧となることで動作する。

(7)　空気ブレーキはディスクブレーキとなっている。ブレーキ制御の空気圧は、台車ごとに設けられた増圧シリンダ[10]で油圧に変換されてブレーキキャリパ[11]（以下「キャリパ」という。）に伝達され、キャリパに取り付けられたディスク制輪子（以下「パッド」という。）をブレーキディスクに押し付けてブレーキ力を得る。

(8)　本件車両メーカーからの情報によれば、増圧シリンダ～キャリパ間のブレーキオイルについて、その性能が保証される温度は２００℃以下とのことであった。

(9)　常用及び非常ブレーキを動作させるための圧力空気は「供給空気だめ」から供給される。一方、保安ブレーキを動作させるための圧力空気は、「保安だめ」と呼ばれる空気だめから常用及び非常ブレーキとは別の配管を経由して供給され、常用及び非常ブレーキの空気系統に異常があった場合にバックアップする仕組みとなっている。

2.3.2.7　ブレーキディスクに関する情報

本件編成の図面によれば、ブレーキディスクの使用温度は、常用ブレーキが１２０℃以下、非常ブレーキが２５０℃以下となっていた。また、本件車両メーカーからの情報によれば、５０００系のブレーキディスクは、１次車では１枚ずつ円盤

[9]　「初込め圧」とは、電気（回生）ブレーキから空気ブレーキへの切換を円滑にするため、電気（回生）ブレーキ作用中も制輪子を車輪に軽く押し付ける程度の圧力をいう。

[10]　「増圧シリンダ」とは、入力側の空気圧力を油圧に変換する装置をいう。

[11]　「ブレーキキャリパ」とは、ディスクブレーキの基礎ブレーキ部を一体化した装置をいい、油圧（空気圧）によりピストンが制輪子をディスクに直接押し付ける。

状に砂型で鋳造した鋳鉄（ＦＣ３００）を材料とし、本件編成（２次車）では水平連続鋳造された太丸棒（ＦＣ２５０相当）を輪切りにしたものを材料として、それぞれ機械加工したものであるとのことであった。

１次車から２次車への材質等の変更については、２次車で使用した水平連続鋳造材の方が組織が緻密で均一な硬さ分布を有した優れた材料と判断したため、採用にあたり事前の試験等は特に実施しなかったとのことであった。本件車両メーカーから提出された１次車と２次車のブレーキディスクに使用された材料の物性値を表２に示す。これらによれば、２次車の材料は１次車に比べて、強度、熱伝導率、比熱が小さく、縦弾性係数、線膨張係数が大きくなっている。

なお、同社からの情報によれば、１次車においてはこれまでブレーキディスクにき裂が発生したことはないとのことであった。

鉄鋼材料が加熱されると温度に応じた酸化物が形成され、光の干渉作用により変色が認められるようになる。これをテンパーカラーといい、材料が加熱された際の温度の目安となる。本件車両メーカーが作成した２次車ブレーキディスク材料のテンパーカラーのサンプルを付図１１に示す。

（付図１１　ブレーキディスク材料のテンパーカラー　参照）

表２　ブレーキディスク材料の物性値

		１次車使用品 ＦＣ３００ 砂型鋳物	２次車使用品 ＦＣ２５０相当 水平連続鋳造材
強度	MPa	250以上	210以上
縦弾性係数※	GPa	103	146
線膨張係数	10^{-6}/℃	10.8	12.5
密度	g/cm³	7.3	7.3
比熱	J/g/K	0.54	0.48
熱伝導率	W/m/K	50.2	39.3

※　縦弾性係数は実測値、その他はカタログ及び文献値

2.3.2.8　応荷重制御

本件編成のブレーキ制御装置及びＶＶＶＦインバータは、乗車率が０～２５０％の範囲で変動しても一定の加減速性能を得られるように応荷重制御を行っている。応荷重信号は、各車両に取り付けられている４箇所の‘空気ばねの圧力’（Air Spring 圧、以下「ＡＳ圧」という。）のうち２箇所のＡＳ圧を各車のブレーキ制御装置で認識し、その結果をもとにブレーキの圧力を調整するとともに、電圧信号に

変換してＶＶＶＦインバータに送り、力行時の加速度を調整する仕組みとなっている。各車両の空気ばねの部位番号と荷重測定箇所の配置を図２に示す。同一台車内の左右の空気ばねは、圧力差１４７kPa 以上になると動作する差圧弁を介して接続されている。

力行の応荷重条件については、中間車である５２０３号の応荷重信号は力行の応荷重制御には使用されず、５５０３号及び５５０４号のＶＶＶＦインバータがそれぞれ自車の応荷重信号を速度６km/h 以下のときのみに認識するようになっている。また、保安ブレーキについては、応荷重制御は行われない仕組みとなっている。

本件編成の設計図書に記載されている、応荷重制御におけるＡＳ圧、力行トルク指令値及びＢＣ圧等について表３に示す。

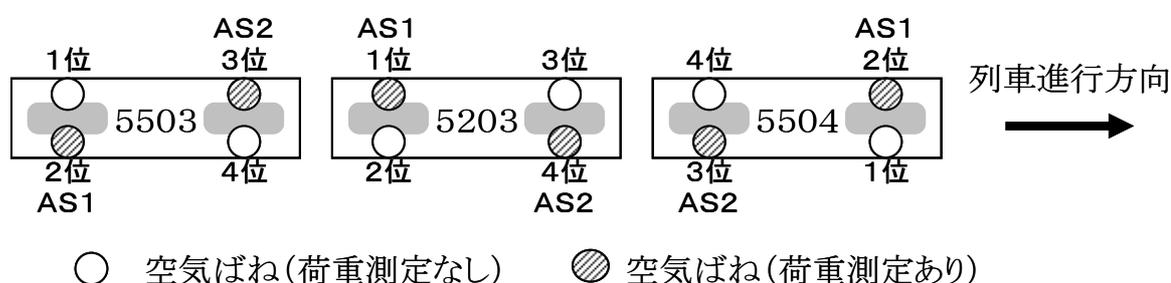



図２　空気ばねの部位と荷重測定箇所（上から見た図）

表３　応荷重制御一覧（５５０３号及び５５０４号）

	空　車	定　員	満車（２５０％）
乗車人員	０	７２	１６２
乗客質量　(t)	０．００	４．３２	９．７２
総質量　(t)	１７．１	２１．４	２６．８
ＡＳ圧　(kPa)	２６５	３６０	４８５
力行トルク指令値　(N･m)	３９７	５００	６２３
非常ブレーキＢＣ圧　(kPa)	２９０	３５０	４２５
常用５ステップＢＣ圧　(kPa)	２６０	３１０	３７５

2.3.2.9　走行性能

本件編成の走行性能については、本件車両メーカー及び本件電機メーカーが作成した取扱説明書に以下のように記載されている。力行加速度及び常用・非常ブレーキ減速度は、応荷重制御により空車～定員の２５０％乗車の範囲において一定にな

るように設計されている。また、本件編成の定員乗車、架線電圧１，５５０Ｖのときのノッチ曲線を付図１２に示す。

加速度　・・・・・・・・・・　４．０km/h/s
減速度（常用最大）　・・・　４．０km/h/s
減速度（非常）　・・・・・　４．５km/h/s
走行抵抗による減速度　$9.8\times(11.85+0.0382V+0.0678V^2/W)$　Ｎ／ｔ
ただし、Ｖ＝速度（km/h）、Ｗ＝質量（ｔ）
（付図１２　５０００系ノッチ曲線（定員　架線電圧１，５５０Ｖ）　参照）

2.3.2.10　ＡＴＳ（自動列車停止装置）

同社の江の島線には、信号冒進と速度超過による事故を防止するために、連続速度照査式のＡＴＳが導入されている。信号冒進や速度超過が発生した場合、アラームが鳴動し､続いて非常ブレーキを動作させるが､ＡＴＳの動作条件が成立しても、マスコンを非常ブレーキ位置にするとＡＴＳ電源がオフになるためアラームは鳴動しない。また、ＡＴＳの動作を記録する機能はない。

湘南深沢駅～西鎌倉駅間の本件列車に対するＡＴＳの速度照査パターンを、付図１３に示す。
（付図１３　湘南深沢駅～西鎌倉駅間の本件列車に対するＡＴＳ速度照査パターン参照）

2.3.2.11　運転状況を記録する装置

本件編成には「列車の運転状況を記録する装置」である運転台モニタ等は搭載されていないが[12]、本件編成のＶＶＶＦインバータは同社向けの仕様であるものの基本的には他社の鉄道車両向けのものと共通する部分が多く、ＶＶＶＦインバータ内にあるゲート制御装置、分圧抵抗盤、及びゲート制御装置と分圧抵抗盤を結ぶ４８芯シールドケーブルに、運転台モニタ用の伝送回路が実装されている。運転台モニタ用の伝送回路には２本の伝送線があり、これらがデータ伝送ＩＣへの差動入力線となっているが、４８芯シールドケーブル内のこれら２本の伝送線にはツイスト処理[13]はされていない。また、この伝送回路は、本件編成には運転台モニタが搭載されていないため分圧抵抗盤が終端となっているが、終端抵抗を挿入する等の終端

[12] 「列車の運転状況を記録する装置」は、平成１８年３月に改正された「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」により設置が義務づけられたが、経過措置により、平成２０年６月３０日までに完成した車両については、最初に行う改造の工事が完成するまでの間は、なお従前の例によることができるとされている。
[13] 「ツイスト処理」とは、２本１組の伝送線を撚る（ツイストする）ことにより、誘導性のノイズの影響を受けにくくする等、伝送線のノイズ対策の１つである。

処理はされていない。さらに、ＶＶＶＦインバータ制御プログラムにおいて、運転台モニタ用の伝送回路からの伝送開始データ受信に続く受信割り込みは有効な割り込みとして処理されるようになっている。

また、本件編成のＶＶＶＦインバータには、その動作情報を常時監視し、故障内容及び故障が主回路の過電流やＷＤＴ保護動作など重故障である場合に、故障発生の０．７秒前から０．３秒後までのＶＶＶＦインバータの動作情報を記録する機能がある。本件編成中の２台のＶＶＶＦインバータは、どちらか一方で回路開放に至った場合は他方も回路を開放する仕組みになっているので、２台のＶＶＶＦインバータに共通する故障が発生した場合にも、先に故障を検知したＶＶＶＦインバータのみに故障が記録される仕組みとなっている。

2.3.2.12　納入時の試験結果

本件編成の納入時における加減速性能の試験結果は、以下の値であった。なお、試験実施時の要員及び機材の質量は約１ｔであり、荷重条件はほぼ空車とみなすことができる。なお、納入時の試験においては、パッドの温度等は測定していない。

力行加速度（４ノッチ）　４．１km/h/s　（４km/h→３４km/h）
減速度（常用５ステップ：電制）　４．５～４．６km/h/s　（６０km/h→０km/h）
減速度（常用５ステップ：空制）　４．０～４．２km/h/s　（６０km/h→０km/h）
減速度（非常ブレーキ）　４．２～４．８km/h/s　（６０km/h→０km/h）
※　４．２～４．８km/h/s の範囲に分布し、平均は４．４km/h/s であった。
減速度（保安ブレーキ）　４．３km/h/s　（６０km/h→０km/h）
ＡＳ圧　表４参照

表４　本件編成納入時のＡＳ圧　　単位：kPa

車号	実測値		平均	設計値(空車)
	ＡＳ１	ＡＳ２		
５５０３	３８８	３５０	３６９	２６５
５２０３	２７０	２４０	２５５	２５５
５５０４	３１５	１８３	２４９	２６５

2.3.2.13　検査歴等

運用開始　平成１９年１２月　５　日

列車検査　　　　　平成２０年 ２ 月１９日

本件編成の列車検査の記録に異常は認められなかった。

2.3.2.14　本件編成の故障発生状況

同社によると、本件編成における本事故に関連する機器であるＶＶＶＦインバータ及びブレーキ関係の故障としては、以下に記述する故障が発生していたとのことであった。

本件編成の運用開始から約２ヶ月後の平成２０年２月６日の運用中、折り返しの大船駅出発時に５５０３号のＶＶＶＦインバータは正常に起動するものの、５５０４号のＶＶＶＦインバータが起動しないというトラブルが発生した。入庫後、調査のためいったん正パンタグラフを降下させてから空ノッチ試験を実施し、再起動したところ正常な状態に復帰し、トラブルは発生しなくなった。また、このトラブルに関するＶＶＶＦインバータの故障記録はなかったため、同社及び本件電機メーカーは、故障記録のトリガーとなる事象は発生していなかったものと考えた。

同社及び本件電機メーカーは調査の結果、故障原因はＶＶＶＦインバータ内の制御系統自体の不具合ではなく、電源の一時的な電圧低下と考え、電源装置を交換した。なお、取り外した電源装置について調査を実施したが、異常は見当たらなかった。

なお、本件編成はこの処置を行った後、２月１２日に湘南深沢駅～大船駅間で２往復の試運転を行い異常がなかったことから、２月１３日より営業運転を再開した。

２．４　鉄道施設及び車両等の損傷、痕跡に関する情報

2.4.1　事故現場の状況に関する情報

本件列車は西鎌倉駅下り出発信号機を冒進し、上り線側に開通していた＃４６分岐器に背向から進入したため、先頭台車が鋼軌道に挟まれる形となり負電車線を損傷し、さらに先頭台車の走行車輪が走行路面から浮き上がった状態で停止していた。その際に先頭台車の金属部分と正電車線が短絡して架線停電となった。西鎌倉駅に接近中であり、本件列車の冒進を認めて非常停止した対向列車との距離は、約１９ｍであった。

（付図４　事故発生後の状況、付図１４　正電車線及び台車の短絡痕　参照）

2.4.2　鉄道施設の損傷及び痕跡の状況

軌道等についての損傷の状況は、以下のとおりであった。

(1)　本件列車と衝突した＃４６分岐器の鋼軌道が損傷した。

(2)　上記箇所の負電車線が損傷した。

(3)　西鎌倉駅構内の軌道には、本件列車の衝突による損傷以外の異常は認められなかった。また、走行レール面に油脂類や塵埃の付着などは認められなかった。

(4)　本事故後、同社が湘南深沢駅～西鎌倉駅間の軌道走行面及びＡＴＳの地上設備について検査をしたところ、異常は認められなかった。

（付図１５　分岐器軌道及び負電車線の損傷状況　参照）

2.4.3　車両の損傷及び痕跡の状況

本件列車の損傷は以下のとおりであった。

(1)　１両目先頭台車の案内車輪の鋳物部が割損し、タイヤがパンクしていた。

(2)　１両目先頭台車の走行車輪のホイールに傷が生じていた。

(3)　３両２４枚のすべてのブレーキディスクにき裂が生じていた。き裂は１枚のディスクに複数生じているものもあった。その多くは応力が集中するボルト穴を起点としていたが、パッドとの摺動面を起点としているものもあった。き裂はブレーキディスクの外縁部まで達しているものもあったが、欠落には至っていなかった。

(4)　本件列車のブレーキディスクの摺動面に、異物や油分は付着していなかった。

(5)　１両目先頭台車の負パンタグラフが破損していた。

(6)　１両目先頭台車の上部に短絡痕が見られた。

(7)　１両目先頭台車の吊りリンク受けが変形していた。

(8)　１両目台車の吊りリンク及び各車の連結器関係部品に傷が見られた。

(9)　本件電機メーカーがＡＴＳの車上装置について、ＡＴＳ車上装置のメーカーに委託して検査を行ったところ、異常は認められなかった。

（付図１６　本件編成の損傷状況、付図１７　事故後のブレーキディスク及びパッド　参照）

2.4.4　運転台のマスコン及び計器等の状況

本事故後の本件列車の運転台のマスコン及び計器等の状態は、以下のとおりであった。

(1)　５５０４号運転台のマスコンは非常ブレーキ位置であった。また、２箇所ある非常ブレーキ引きスイッチと、保安ブレーキスイッチはすべて扱われていた。

(2)　５５０４号運転台の圧力計では、ＢＣ圧は、乗車率３５％の非常ブレーキ

に相当する約３１０kPa を示していた。

(3)　５５０３号運転台の圧力計では、ＢＣ圧は、乗車率８９％の非常ブレーキに相当する約３４０kPa を示していた。

（付図１８　事故後の運転台　参照）

2.4.5　電制スイッチの状態

５０００系の運転台には、運転席の左後方の上部に電制スイッチがある。５０００系の電制スイッチの取扱いについては、同社の内規である「電車運転士作業基準」（以下「電車運転士作業基準」という。）により、編成の両運転台とも出区時（出区作業前）に「入」、入区時（入区作業前）に「切」とすることが定められている。５０００系では本線運転中に電制スイッチを取り扱わないため、本線上では運転方向にかかわらず両運転台とも「入」が定位置である。当委員会の調査官到着時の電制スイッチの状態は、１両目が「入」、３両目が「切」の状態であった。

本事故後の１両目の運転台の監視は、本件運転士とは別の運転士が引き継ぎ、さらに助役が引き継いだ。１両目の電制スイッチについて、本件運転台の監視を引き継いだ助役は「切れていたので入れた」と口述している。

本件運転士から１両目運転台の監視を引き継いだ運転士は、本件列車の運転室のスイッチの取扱いについて次のように口述している。

指令より、本件列車のパンタグラフを下げるよう指示を受けた。１両目の運転台で、普段の入区後の留置扱いと同様に、（助手席背面側にある）「主コンプ」、「ＳＩＶ[14]起動」、「パンタ上げ」の制御直流ブレーカーを「切」としたが、「バッテリー」は「入」のままとした。電制スイッチを「切」としたかどうかは覚えていない。３両目の運転室は、乗降のときに通過はしたが、スイッチ類は操作していない。

本件運転士は、本件列車の電制スイッチの取り扱いについて、以下のように口述している。

本事故後に１両目運転台の電制スイッチを切ったかどうかは覚えていないが、３両目運転台のスイッチは扱っていない。本件列車を出区させたときは、出区点検が済んでいる車両に乗り込みブレーキ試験を行ってから出区させた。電制スイッチは､予備勤務の運転士が出区点検を行う際に入れておくことになっている。ブレーキ試験の際には電制スイッチが両運転台ともに入っていることを確認したはずだが確実に入っていたという自信はない。５０００系の場合は、本線運用の途中で電制スイッチを入り切りすることはなく、事故当日も運用の途中では扱っ

14　「ＳＩＶ（Static Inverter）静止インバータ」とは、電動発電機に代わる補助電源装置で、電力用半導体素子を用いたインバータによって静止機器化した装置をいう。

ていない。

　本件列車が湘南深沢駅を出発するまでは、本件編成の走行状態に違和感はなかったが、５０００系の電制スイッチが「切」の状態で本線運転をしたことがないので、電制スイッチが確実に入っていたかどうかはわからない。

また、本件列車の出区点検を担当した予備勤務の運転士は、本件列車の出区点検と電制スイッチの取扱いについて、次のように口述している。

　本件列車の電制スイッチは、出区点検の際に両運転台ともに入れた。予備勤務のときに行う出区点検は、点検後、自分以外の運転士が出区及び本線運転を担当するので､スイッチ類は自分が出区させるとき以上に慎重に何度も確認している。

なお、５０００系の電制スイッチは、車庫内に留置されているときは「切」が定位置となっている。同社が２月２３～２４日に勤務した輸送指令員及び車両検修社員に確認したところ､出区前の本件編成に立ち入った者はいないとのことであった。

（付図１８　事故後の運転台　参照）

2.4.6　鉄道施設及び車両の物損額

鉄道事故等報告規則に基づき、平成２０年７月７日に同社が関東運輸局長に提出した鉄道運転事故等報告書によれば､本事故により鉄道関係で6,４１０万円の物損を生じた。

２．５　乗務員に関する情報

2.5.1　性別、年齢等

本件運転士	男性	３７歳	
甲種電気車運転免許			平成 ４ 年 ６ 月２５日
本件車掌	男性	２７歳	
対向運転士	男性	２７歳	
甲種電気車運転免許			平成１７年１２月２２日
対向車掌	男性	２２歳	

2.5.2　本件運転士の勤務実績等

本件運転士の本事故発生直近の勤務状況等は、表５のとおりであった。

表５　本件運転士の勤務実績

	１８日	１９日	２０日	２１日	２２日	２３日	２４日
出勤	13:25	9:47	6:16	9:00	‖	公　休	8:48
退勤	21:19	17:36	14:14	‖	9:00		16:06
備考							公休出勤

※　「‖」は泊まり勤務を示す。

2.5.3　本件運転士の健康状態

平成１９年３月に実施された本件運転士の運転適性検査、及び平成１９年１１月に実施された健康診断の結果に異常は認められなかった。また、事故発生当日に行った出勤点呼でのアルコール検査の結果、アルコールは検出されていなかった。

本件運転士は、事故発生当日の健康状態について、次のように口述している。

数日前から風邪をひいていたがほぼ回復しており、運転に影響はなかった。点呼時には、「心身状態異常なし、マスクはしているが運転には支障はない」と申告した。風邪薬は服用しておらず、乗務を開始してからも健康状態に異常はなかった。

また、同社によると、当日の点呼を担当した助役も本件運転士の健康状態に異常はないと判断したとのことであった。

２．６　運転取扱いに関する情報

2.6.1　規定に関する情報

電車運転士作業基準のＮｏ．６７に、「運転中、車両および線路に異常を認めたときの取扱い」として、「速やかに停止し、列車無線で指令に連絡し、以後の運転方について指示を受けること」が定められている。

2.6.2　同社における最近の車両トラブルとその後の対応

平成１７年度及び１８年度における同社の輸送障害の記録から本線運用中の車両トラブル等を抽出したところ、表６のとおり本事故を除き６件の事象が報告されていた。この６件に関してはいずれも発生後速やかに指令への連絡が行われ、また、駅ホームから外れた場所で発生した４件の事象に関しては、いずれも発生後速やかに停止手配がとられていた。

表６　平成１７、１８年度に発生した車両トラブル

発生日	車　両	場　所	事　象	備　考
平成17.6／17	500系	富士見町駅構内（起動後）	運転士知らせ灯[15]消灯	ホームを外れて停止
平成17.7／25	500系	富士見町駅～湘南町屋駅間	元空気だめ管漏気	ホームを外れて停止
平成17.9／22	500系	湘南江の島駅構内(停車中)	運転士知らせ灯不点灯	
平成17.12／20	500系	湘南町屋駅構内	ＢＣ圧異常	
平成18.2／24	500系	富士見町駅構内	起動不能	ホームを外れて停止
平成18.9／14	500系	目白山下駅構内	異音感知	ホームを外れて停止

２．７　気象に関する情報

本事故発生時の事故現場付近の天候は晴れであった。

２．８　避難及び救護に関する情報

本事故発生後､本件列車は､3両目の乗務員扉が西鎌倉駅の保守作業用通路にかかっていたため、乗車していた２２名の乗客は、同社の保安要員の到着後、同通路を経由して西鎌倉駅ホームに移動し救出された。本件列車の乗客の救出は、１０時２６分ごろに完了した。

一方、高架軌道上に停止した対向列車の乗客は、架線停電となったことから車両の移動ができなかったため、車両に搭載されている非常脱出袋（以下「脱出袋」という。）と消防のはしご車により救出された。対向列車には１６名の乗客が乗車していたが、１１名が脱出袋、５名がはしご車により救出された。対向列車の乗客の救出は１０時３０分ごろに開始され、１０時５２分ごろに完了した。

対向列車の乗客の救出について、対向運転士及び対向車掌は次のように口述している。

本事故の発生後、警察、消防及び応援の社員が到着するまでの間、脱出袋の準備をした。脱出袋の使用が不安な乗客には、はしご車での脱出も可能であることを案内した。脱出が始まると、対向運転士は大船駅方の車両ではしご車で脱出する乗客の対応をするとともに、対向車掌は湘南江の島駅方の車両で地上の社員と協力して脱出袋の対応をした。

脱出袋を実際に使うのは初めてであったが、年１～２回訓練を行っているので戸惑うことはなかった。乗客を脱出袋で脱出させることについては、地上の社員もいたので不安を感じることはなかった。

---

[15] 「運転士知らせ灯」とは、運転士にドアの開閉状況を知らせる表示灯をいい、すべてのドアが閉じているときに点灯し、ドアが１箇所でも開いているときに消灯する。

（付図１９　はしご車による対向列車乗客の救出、付図２０　脱出袋を使用した脱出の様子　参照）

２．９　事実を認定するための調査及び試験

2.9.1　運転士に対するアンケート調査

同社は本事故発生後、２０名の運転士全員に対して５０００系の運転感覚に関するアンケート調査を実施し、以下の回答を得た。

(1)　５０００系１次車又は２次車の本線運転で、ブレーキの異常等に気付いたことはあるか
　ない　２０名（１００％）

(2)　５０００系１次車と比較して、２次車に相違はあるか
　ブレーキの効きがよい　１６名（８０％）　気付き事項なし　４名（２０％）

(3)　５０００系のマスコンで､力行１ノッチや２ノッチに入れようとしたとき、２ノッチや３ノッチ等上位段に入れ間違えたことはあるか
　ある　２０名（１００％）

2.9.2　連動装置の記録

本事故当日の、本件列車から５本前までの列車の各軌道回路の在線時間を表７に示す。なお、本件列車の５本前の第９０９列車は、本件編成を本件運転士が運転した列車である。

表７　富士見町駅～西鎌倉駅間の軌道回路在線時間　　単位（秒）

	富士見町駅構内	富士見町駅～湘南深沢駅	湘南深沢駅構内	湘南深沢駅構内	湘南深沢駅～西鎌倉駅	西鎌倉駅構内	西鎌倉駅構内	備　考
軌道回路名称	7T	BFT	31T	32T	C／DFT※1	45T	41RT	
軌道回路長（m）	145	1373	154	278※3	1588※3	158※3	60※3	
909S	22．9	131．8	31．0	34．8	99．7	19．1	14．0	本件列車
903S	21．8	133．9	28．5	35．3	116．6	36．3	―※2	
905	24．5	139．8	31．3	37．3	104．2	34．3	―※2	
907	25．1	134．8	30．1	36．9	107．2	33．4	―※2	
901	23．0	138．5	31．2	37．6	104．4	32．1	―※2	
909	―	―	―	39．9	107．4	35．3	―※2	湘南深沢駅始発909Sと同編成

※１　ＣＦＴ区間とＤＦＴ区間は、連動上は「Ｃ／ＤＦＴ」という単一の軌道回路として扱われている。

※２　９０９Ｓ以外の４１ＲＴ在線時間は、駅停車時間が大半であるので記載しない。
※３　３２Ｔ～４１ＲＴの軌道回路長は、本件列車の走行速度の分析で使用するため、負電車線の絶縁間距離の実測値を記載した。

2.9.3　西鎌倉駅監視カメラの映像

西鎌倉駅には監視カメラが設置されており、本件列車が通過する様子が記録されていた。ビデオの撮影コマ数と車両の位置の関係を分析したところ、本件列車の先頭部が駅中心を通過したときの速度は約２７km/h、その後約６３ｍ走行して本件列車の最後部がホームの湘南江の島駅方の端部を通過したときの速度は約１７km/hであった。

（付図２１　西鎌倉駅監視カメラの映像　参照）

2.9.4　ＶＶＶＦインバータの故障記録

本件列車を車庫に収容後、ＶＶＶＦインバータの故障記録を分析したところ、５５０４号のＶＶＶＦインバータには故障記録はなかったが、５５０３号のＶＶＶＦインバータには９時５４分（誤差を補正した時刻）に、フィルタコンデンサ低電圧及び高速度遮断器[16]の自己遮断の故障記録があり、このうち、高速度遮断器の自己遮断は重故障に分類されるため、その発生前後のＶＶＶＦインバータの動作状況が記録されていた。記録されたＶＶＶＦインバータの動作状況は、以下のとおりであった。

(1)　高速度遮断器自己遮断の約０．１５秒前に、架線電圧が約１，６００Ｖから約９１Ｖに急低下し、その約０．０２秒後に瞬間的に約１，７６５Ｖに上昇した後、約０Ｖになった。

(2)　架線電圧の急低下とほぼ同時に、フィルタコンデンサの電圧が約１，５９５Ｖから、約０Ｖに低下した。

(3)　フィルタコンデンサの電圧が約１，５９５Ｖから、約０Ｖに低下するタイミングでフィルタコンデンサの低電圧検知が働き、５５０３号と５５０４号の遮断器を開放した。

(4)　高速度遮断器自己遮断の約０．７秒前から０．３秒後までの約１秒間、力行指令及び回生ブレーキの指令はなく、５５０３号のＶＶＶＦインバータは動作していなかった。

(5)　高速度遮断器自己遮断の約０．７秒前から０．３秒後までの約１秒間に、速

[16]　「高速度遮断器」とは、主回路に過大電流が流れた場合に、回路を迅速に遮断して、主回路の各機器を保護するための遮断器をいう。

度は約１２．５km/h から約１．１km/h に変化した。

（付図２２　５５０３号ＶＶＶＦインバータ重故障発生時の記録　参照）

2.9.5　ブレーキに関する調査

本件列車を車庫に収容後、同社、本件車両メーカー及び本件電機メーカーが本件列車のブレーキについて調査を実施した。その概要は以下のとおりである。

(1)　マスコン指令、非常ブレーキ引きスイッチ及び保安ブレーキスイッチに対する各ブレーキの動作に異常は認められなかった。

(2)　現車の状態（空車荷重）及び外部から乗車率２５０％相当のＡＳ圧を与えた条件で、常用ブレーキ１～５ステップ、非常ブレーキ及び保安ブレーキのＢＣ圧並びにキャリパの油圧を調査したところ、それぞれ本件車両メーカーが定めた基準範囲内であった。

(3)　マスコン操作による常用ブレーキから非常ブレーキへの切替、非常ブレーキ作用中の保安ブレーキの追加及び常用ブレーキ作用中の保安ブレーキの追加の操作についてＢＣ圧を確認したところ、いずれの場合も切替に伴う圧力低下はなく、より高い方のＢＣ圧が作用した。

(4)　常用ブレーキ５ステップを１０分間維持し、元空気圧力[17]の変化を確認したところ、圧力の低下はなかった。

(5)　本件列車の事故後のブレーキディスクには、ブレーキディスク材料のテンパーカラーのうち、パッドとの摺動部には３５０℃に相当する青みがかった色が見られ、外縁部には３００℃に相当する赤みがかった色、及び２５０℃に相当する黄色がかった色が見られた。

（付図１１　ブレーキディスク材料のテンパーカラー、付図１７　事故後のブレーキディスク及びパッド　参照）

(6)　パッドの状態を確認したところ、３両４８枚のすべてについて正常なものと差異はなく、異常摩耗や樹脂成分が溶出した痕跡などのフェード現象の兆候は認められなかった。

(7)　本件車両メーカーが、部外の検査機関に委託して各車両の増圧シリンダ～キャリパ間のブレーキオイルの成分を分析したところ、ブレーキオイルのメーカーが定めた使用基準を満たしており、劣化傾向は認められなかった。

17　「元空気圧力」とは、空気圧縮機で作られた圧縮空気で、車両で使用する圧縮空気の元となる圧縮空気の圧力をいう。

2.9.6　ＡＳ圧に関する調査

本事故後、３月２日に測定した本件編成のＡＳ圧を表８に示す。

表８　事故後のＡＳ圧　単位（kPa）

<table>
<tr><th rowspan="2">車号</th><th colspan="4">測定値</th><th colspan="2">平均値</th><th rowspan="2">設計値</th></tr>
<tr><th>１位</th><th>２位</th><th>３位</th><th>４位</th><th>２点
（測定点）</th><th>４点</th></tr>
<tr><td>５５０３</td><td>２３０</td><td>ＡＳ１
３７０</td><td>ＡＳ２
２９０</td><td>２４０</td><td>３３０</td><td>２８３</td><td>２６５</td></tr>
<tr><td>５２０３</td><td>ＡＳ１
２５０</td><td>２７５</td><td>２５５</td><td>ＡＳ２
２４５</td><td>２４８</td><td>２５７</td><td>２５５</td></tr>
<tr><td>５５０４</td><td>３２０</td><td>ＡＳ１
２９０</td><td>ＡＳ２
２４５</td><td>２８０</td><td>２６８</td><td>２８４</td><td>２６５</td></tr>
</table>

※　網掛けは、応荷重制御に使われない箇所である。なお、５２０３号の応荷重信号は、力行の応荷重制御には使われない。

2.9.7　空ノッチ試験

本事故後、本件列車を車庫に収容し、同社が主回路を切り離した状態でマスコンからの指令を与えて空ノッチ試験を実施したが、本件編成のＶＶＶＦインバータの加減速シーケンスに異常は認められなかった。

2.9.8　引き通し線の絶縁抵抗測定

本事故後、本件列車を車庫に収容し、同社、本件車両メーカー及び本件電機メーカーが本件編成の力行指令、ブレーキ指令及び低圧車体接地線等の引き通し線間の絶縁抵抗を測定したが、絶縁抵抗の低下等の異常は認められなかった。

2.9.9　引き通し線混触調査

2.9.9.1　目視による調査

本事故後、本件列車を車庫に収容し、本件編成の力行指令引き通し線の端子等で通電部が露出している、運転台マスコン、低圧ツナギ箱、機器箱、及び継電器盤の内部配線について、混触の可能性を調査した。上記箇所には、車両製造時のものと思われるアルミの切粉、未使用のビス及び素線等が相当数発見されたが、直接混触と結びつくような大きさや形状を持つ異物や通電痕は発見されなかった。

また、同社、本件車両メーカー及び本件電機メーカーが、内装やダクトを解体して引き通し線の露出していない部分の状態を確認した。一部の配線に噛み込みなど

が発見されたが、力行指令系統の回路に通電痕及び混触につながるような不具合は発見されなかった。

2.9.9.2　切粉等による導通の可能性に関する調査

ＶＶＶＦインバータを搭載した車両では、引き通し線を通して伝達される力行指令の信号をＶＶＶＦインバータ内の基板上の電子部品で認識するため、その動作電流は微少であることから、力行指令系統の回路に混触が発生した場合においても通電痕が残らない可能性があると考えられる。そこで、力行指令線の通電部が露出している箇所に切粉等を置いた場合にＶＶＶＦインバータが指令を認識するか、また、指令を認識した場合、通電痕等が残るかを確認した。

５５０３号の屋根上の低圧ツナギ箱内の‘１００Ｖ常時加圧線である１線’(以下、単に「１線」という。）と‘前進指令である３線’（以下、単に「３線」という。）を試験用に作製した切粉で短絡し、低圧ツナギ箱内部の混触による３線加圧状態を発生させた。１線と３線の端子は隣り合う端子ではなく、また端子台の形状から、切粉はそのままの形状では端子に接触しないため、両端を曲げて強制的に端子台のビス頭部に接触させた。接触させただけでは電流は流れず、両端を絶縁ドライバーで押し付けることにより５５０３号及び５５０４号の２台のＶＶＶＦインバータが指令を認識した。また、その際に流れた電流は約９㎃で、接触箇所に通電痕は残らなかった。

（付図２３　切粉による混触試験（低圧ツナギ箱）　参照）

また、５５０４号運転台の逆転ハンドル内部配線において１００Ｖ常時加圧線であるＴａ線と３線の接点ねじ部にバインド線を載せて短絡し、運転台内部の混触による３線加圧状態を発生させると、５５０３号及び５５０４号の２台のＶＶＶＦインバータが指令を認識した。その際に流れた電流は約１０㎃で、接触箇所に通電痕は残らなかった。

（付図２４　バインド線による混触試験（マスコン内部）　参照）

2.9.10　ブレーキディスク試験

2.9.11 に記述するように、本線走行試験では、本件編成と同じ材質のブレーキディスクを取り付けての試験を実施することができなかったため、本件編成と同じ材質のブレーキディスクの温度上昇に伴うブレーキ力の低下を、工場内のブレーキ試験機を使用して測定した。満車荷重相当の慣性モーメントを持つフライホイールと連結したブレーキディスクを、速度６５km/h 相当に加速した後で常用ブレーキ５ステップ相当のブレーキ力で停止させるという動作を１０回繰り返し、パッド温度を約５００℃になるまで上昇させ摩擦係数を測定した。

常温では約０．３であったパッドとブレーキディスクとの摩擦係数（摩擦係数は、速度約６５km/h から停止までの平均値）は、パッド温度が約３５０℃のとき約２０％低下し、約４６０℃のときに約３０％低下した。この試験において温度が約５００℃まで加熱されたパッドには、樹脂成分が溶けた痕跡が見られ、摺動面が荒れ、側面の塗装部が変色していた。また、パッド温度が５００℃まで上昇したときのブレーキオイルの温度は、最高で８１℃であった。

また、この試験を実施中のブレーキディスクには、すべての試験において２～３回目のブレーキ中､パッド温度がおおむね２００～２５０℃のときにき裂が入った。なお、ブレーキディスクのき裂発生に伴う摩擦係数の低下及び過大な振動は認められなかった。

（付図２５　ブレーキディスク試験、付図２６　温度上昇による摩擦係数の推移、付図２７　ブレーキディスク試験後のパッド（約５００℃まで上昇）　参照）

2.9.11　本線走行試験（１）

５０００系の電制スイッチを「切」として本線走行した場合におけるブレーキ力低下の可能性を確認することを主な目的として、１次車を使用して本線走行試験を実施した。ブレーキディスクは、試験の精度向上のためには本件編成と同じ材質のものに取り替えて実施することが望ましいが、試験区間には公道の直上も含まれているため、破損したブレーキディスクの落下による事故を未然に防ぐために、１次車のブレーキディスクのまま試験を実施した。

湘南深沢駅→大船駅→湘南江の島駅→湘南深沢駅、という経路を電制スイッチ「切」､途中駅の停車時間３０秒、折り返し駅の停車時間２分という条件で走行したときのパッド及びブレーキオイルの温度変化を付図２８に示す。この条件で全線を１往復したところ、パッドの温度は約２５０～２８０℃まで上昇し、ブレーキオイルの温度は約４０～６０℃まで上昇した。

（付図２８　電制スイッチを「切」として走行したときのパッド及びブレーキオイルの温度　参照）

2.9.12　本線走行試験（２）

本事故の原因究明のため､再度､１次車を使用して本線走行試験を実施した。2.9.9 に記述したように、車両調査においてマスコンや低圧ツナギ箱内部からアルミの切粉、未使用のビス及び素線等が見付かり、混触が発生した場合においても通電痕が残らないことがあることから、力行操作中に下り列車の前進指令線である３線が混触により加圧された場合を想定し、そのような場合の車両の挙動に重点をおいて試験を実施することとした。試験に際しては、３線に混触の状態を任意に模擬できる

ように、試験用の３線加圧スイッチを仮設した。

ブレーキ及び力行の応荷重制御に関しては、本件編成の５５０３号に相当する車両において、実際の荷重はほぼ空車相当であっても、定員相当の荷重を認識している状態を模擬した。また、ブレーキディスクは１次車のものを使用した。

また、この走行試験を通じて、混触発生時の車両挙動の他に引き通し指令線に重畳するノイズの状態も併せて調査した。

2.9.12.1　３線混触による力行と非常ブレーキが同時に作用した場合の減速度

本件列車が西鎌倉駅を通過したときの減速度と比較するために、力行の条件を３線の１本だけの加圧で最も速度が上がる３ノッチ相当とし、ブレーキ初速度を３０km/h として、以下のような手順で、力行と非常ブレーキが同時に作用したときの減速度を測定した。

試験区間は車庫への＃３３分岐器を過ぎた深構１８の支柱（２ｋ８３６ｍ）付近から西鎌倉駅方で、停止状態から３ノッチで力行し、試験用のスイッチにより３線を強制的に加圧してからマスコンによる力行をオフした。本件編成のＶＶＶＦインバータには2.3.2.3 に記述したように戻しノッチ機能がないため、３線が加圧されている間は編成中の２台のＶＶＶＦインバータが３ノッチ力行を継続する。その後、本件列車が西鎌倉駅を通過したときの減速度と比較するために、この状態で速度が約３０km/h になったところでマスコンにより非常ブレーキを作用させ、２台のＶＶＶＦインバータの３ノッチ力行と非常ブレーキによる減速が同時に作用する状態をつくった。

上記のような取扱いをしたところ、試験編成は、停止～速度約３０km/h までの加速度は約４．１km/h/s で、３ノッチ力行と非常ブレーキが同時に作用して間もなく２ｋ９０３ｍからの上り６６‰こう配区間に進入し、編成全体が上り６６‰区間に進入してからはこう配抵抗による減速度が約２．３km/h/s 作用することになるが、減速度は約１．７km/h/s でほぼ一定となり、減速し停止した。この減速度から、こう配抵抗による減速度分を補正すると、水平区間において速度約３０km/h 以下で３ノッチ力行と非常ブレーキが同時に作用したときは、約０．６km/h/s（２．３－１．７）の加速度で加速するという結果になった。なお、この試験実施前に約２０℃であったパッドの温度は、試験後に約８０℃に上昇した。

（付図２９　力行３ノッチと非常ブレーキの同時作用　参照）

2.9.12.2　指令線に重畳するノイズ

2.9.9 に記述した「引き通し線の混触」以外の原因で本件列車に不正な力行指令が生じた可能性を調査するために、今回の走行試験実施中に、制御回路電源、ＶＶ

ＶＦインバータ電源、表示灯回路電源、力行指令及びブレーキ指令の各引き通し線の電圧波形を測定したところ、引き通し線の指令と誤認識されるレベルのノイズは認められなかった。

2.9.13　構内試運転におけるＶＶＶＦインバータ異常動作の発生

本件編成について、破損箇所を修復した後、本線走行試験を実施するための準備作業として車庫内で構内試運転を行ったところ、以下のような予期していなかったＶＶＶＦインバータの異常動作が発生した。

(1)　５月１９日の構内試運転中、５５０４号の運転台で運転士が力行操作をした際に、５５０３号のＶＶＶＦインバータは正常に動作したが５５０４号のＶＶＶＦインバータが動作しないという異常動作が発生した。その際、５５０４号のＶＶＶＦインバータに故障は記録されず、「パンタグラフ下げ」、「バッテリー再投入」により復旧した。

(2)　５月２０日の構内試運転中、５５０３号の運転台で運転士が力行オフ操作をした際に、５５０３号のＶＶＶＦインバータは正常に力行オフとなったが５５０４号のＶＶＶＦインバータのみ力行が継続するという異常動作が発生したため、非常ブレーキにより停止した。このとき、ＷＤＴによる保護動作は働かず、５５０４号のＶＶＶＦインバータに故障は記録されなかった。その後、「パンタグラフ下げ」、「バッテリー再投入」により復旧した。

その後、車庫内での小移動を５～６回行ったところ、５５０３号の運転台で力行から非常ブレーキを使用したときに１回、５５０４号の運転台で力行から非常ブレーキを使用したときに１回、それぞれ５５０３号のＶＶＶＦインバータは正常に力行オフとなったが５５０４号のＶＶＶＦインバータのみ力行が継続するという異常動作が再現した。

2.9.14　ＶＶＶＦインバータ異常動作に関する調査

2.9.13 に記述したＶＶＶＦインバータの異常動作の原因を究明するため、同社及び本件電機メーカーが本件編成に対して起動試験[18]を繰り返し行うと、同様の異常動作が複数回再現された。その際に以下のような事象が発生していることを確認した。

18　「起動試験」とは、主回路を生かした状態で短時間力行指令を与えることにより主回路制御装置を作動させ、制御回路の起動シーケンスと主回路が構成することを確認する試験をいう。

2.9.14.1　発生現象の確認

(1)　５５０４号のＶＶＶＦインバータのみが､マスコン指令などを新たに認識しない状態になり、異常発生直前の動作を継続した。

(2)　その際、ＶＶＶＦインバータの故障記録機能は動作しなかった。

(3)　その際、ＶＶＶＦインバータのＷＤＴによる保護動作は働かなかった。

2.9.14.2　関係機器等の調査

(1)　異常は､５５０４号のＶＶＶＦインバータでのみ発生し､５５０３号で発生することはなかった。

(2)　異常は､主回路が動作しているときのみ発生し､空ノッチ試験ではＳＩＶが動作している場合においても発生しなかった。

(3)　異常は､ドアの開閉やブレーキ操作等､車両の電気機器の動作状態に変化が生じた後に再現した。

(4)　５５０３号と５５０４号のＶＶＶＦインバータ内のゲート制御装置を交換すると、両車両とも異常は発生しなかった。

(5)　５５０４号のゲート制御装置を構成する８枚のカード（基板）を順次予備カードと交換すると、他の機器とのインターフェイスである「ＢＵＦカード」を取り替えた場合は異常が再現せず､他の７枚のカードをそれぞれ取り替えた場合には異常が再現した。

(6)　５５０４号のＢＵＦカードを５５０３号のＶＶＶＦインバータに取り付けた場合、５５０３号で異常は発生しなかった。

(7)　５５０４号のＢＵＦカードと分圧抵抗盤を結ぶ４８芯シールドケーブルを、ＢＵＦカード側で外すと異常は再現しなくなった。

(8)　５５０４号のＢＵＦカードと分圧抵抗盤を結ぶ４８芯シールドケーブルを分圧抵抗盤側で外し、外したコネクタの１００ＣＡ線を分圧抵抗盤と接続すると異常が再現した。

(9)　５５０４号のＢＵＦカードを単体で検査したところ異常は認められなかったが、５５０３号のＢＵＦカードと比較すると伝送回路入力のＩＣの感度が、基準値内ではあるが高い傾向が認められた。

（付図３０　ＶＶＶＦインバータのノイズ重畳経路　参照）

2.9.14.3　異常発生時におけるＶＶＶＦインバータ内の処理の確認

(1)　５５０４号のゲート制御装置内の加減速シーケンスを処理する｢ＳＣＰカード」を、伝送受信割り込みの発生を確認できる調査用ソフトウェアをインストールしたものに交換して起動試験を行ったところ、異常発生時には、本件

編成には搭載されていない運転台モニタからの伝送受信割り込みが発生していることが確認された。

(2)　さらに「ＳＣＰカード」を、同カードのＣＰＵが認識した伝送受信割り込みの内容を確認できるものに交換して起動試験を行ったところ、異常発生時には搭載されていないはずの運転台モニタからの伝送開始データに続き、エラーデータをＣＰＵが認識していることが確認された。

(3)　実際には機器が接続されていない運転台モニタ伝送回路の電圧波形を確認したところ、ＶＶＶＦインバータ内のゲート電源装置（交流４８Ｖ、３０kHz）の筐体とＶＶＶＦインバータの筐体内部に設置された接地板を結ぶ接地線における電流波形と近似していることが確認された。

（付図３０　ＶＶＶＦインバータのノイズ重畳経路、付図３１　モニタ伝送回路の電圧波形とゲート電源装置筐体の車体接地線の電流波形　参照）

2.9.14.4　低圧車体接地線の電位に関する調査

(1)　５５０４号のＶＶＶＦインバータ内の低圧車体接地線である１００ＣＡ線の電位は、車体電位と比較して０．５～１．０Ｖ程度高くなっていた。

(2)　ドアの開閉やブレーキ操作によって、５５０４号のＶＶＶＦインバータ内の低圧車体接地線である１００ＣＡ線の電位は、一時的に車体電位と比較して３Ｖ程度高くなることがあった。

（付図１０　低圧車体接地線系統図（抜粋）、付図３２　１００ＣＡ線の電圧波形　参照）

(3)　５５０４号の１００ａ線を１．２５mm^2 の電線で５５０４号の１箇所の低圧ツナギ箱内で１００線に接続すると、車体と１００ＣＡ線との間の電位差が小さくなり、ブレーキ操作等による一時的な電圧上昇が見られなくなった。また、ＶＶＶＦインバータの異常動作が発生しなくなった。

（付図３３　１００ＣＡ線の電圧波形（１００ａ線を５５０４号内で車体に接続）　参照）

2.9.15　本線走行試験（３）

本事故による車両損傷箇所の修復が完了したため、本件編成を使用して本線走行試験を実施することとした。2.9.13 に記述したように、構内試運転中に５５０４号のＶＶＶＦインバータに‘マスコン指令の認識が不能となる異常動作’（以下「マスコン認識不能」という。）が発生したことから、このマスコン認識不能により、ノッチをオフとしても編成中１台のＶＶＶＦインバータのマスコン指令が更新されず力行を継続した場合の車両の挙動に重点をおいて調査を実施することとした。試験に

際し、５５０４号のＶＶＶＦインバータに任意にマスコン認識不能を模擬させることができるスイッチを設置した。

試験の実施にあたっては、本事故発生時と近いと思われる条件で、かつ、連動装置の記録との整合性が崩れない範囲で走行条件を設定した。具体的には、力行時の応荷重条件を乗車率５０％とし、ディスクブレーキの減速度は温度上昇に伴う摩擦係数の低下を考慮して約２０％低下するようにＢＣ圧を調整して試験を実施した。その結果、この本線走行試験における非常ブレーキの減速度は約３．５km/h/s であった。

マスコン認識不能による力行継続時の挙動のほかに、１次車を使用した本線走行試験時に収集した引き通し指令線のノイズ､及び走行中のＡＳ圧を併せて測定した。なお、ブレーキディスクについては、破損による事故を防ぐために１次車の材質のものを使用した。

2.9.15.1　ＶＶＶＦインバータ１台のマスコン認識不能による力行継続とブレーキの同時作用

以下のような手順により、ＶＶＶＦインバータ１台のマスコン認識不能による力行継続と非常ブレーキが同時に作用したときの減速度を調査した。

試験区間は車庫への＃３３分岐器を過ぎた深構１８の支柱（２ｋ８３６ｍ）付近から西鎌倉駅方で、停止状態から３ノッチで力行したときに試験用のスイッチを扱い５５０４号のＶＶＶＦインバータを強制的に力行継続状態としてからマスコンによる力行をオフした。その後、本件列車が西鎌倉駅を通過したときの減速度と比較するために､速度が約３０km/h になったところでマスコンにより非常ブレーキを作用させた。

非常ブレーキを作用させて間もなく、試験編成は上り６６‰こう配区間（２ｋ９０３ｍ～）に進入した。編成全体が上り６６‰こう配区間に進入したときの速度は約１５km/h で、その後は減速度約３．５km/h/s で減速し、停止した。この減速度から、こう配抵抗による減速度分として約２．３km/h/s を補正すると、水平区間でＶＶＶＦインバータ１台のマスコン認識不能による力行と非常ブレーキが同時に作用した場合の減速度（速度約１５km/h～停止までの平均）は、約１．２km/h/s（３．５－２．３）になるという結果であった。また、この試験実施前は約６５℃であったパッドの温度は、試験後に約８５℃に上昇した。

(付図３４　ＶＶＶＦインバータ１台の力行継続と非常ブレーキの同時作用　参照)

2.9.15.2　指令線に重畳するノイズ

2.9.12 に記述した「本線走行試験（２）」のときと同様に、本件列車に不正な力

行指令が生じた可能性を調査するために、今回の走行試験実施中においても、制御回路電源、ＶＶＶＦインバータ電源、表示灯回路電源、力行指令及びブレーキ指令の各引き通し線の電圧波形を測定したところ、引き通し線の指令と誤認識されるレベルのノイズは認められなかった。

2.9.15.3　ＡＳ圧の変動

湘南深沢駅～西鎌倉駅間を、５５０４号のＶＶＶＦインバータの力行を継続させた試験における本件編成のＡＳ圧の変動範囲を表９に示す。この試験を実施したときのＡＳ圧については、2.3.2.12 表４に記述した本件編成納入時のＡＳ圧及び 2.9.6 表８に記述した本事故後のＡＳ圧とは傾向が異なり、５５０３号はほぼ空車のＡＳ圧を正しく認識し、５２０３号及び５５０４号は実際よりも大きい荷重を認識する傾向が認められた。ただし、これは、本件編成の破損箇所の修復に際して、機器類の追加等はしていないものの、台車やモーター等の取り外しと再組み立てを行った後の測定結果である。

表９　本線走行試験におけるＡＳ圧の変動　　単位(kPa)

<table>
<tr><th>車号</th><th>空気ばね</th><th colspan="2">湘南深沢駅
停止時</th><th colspan="2">西鎌倉駅
停止時</th><th>設計値
(空車)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">5503</td><td>AS1</td><td>243</td><td rowspan="2">267</td><td>247</td><td rowspan="2">259</td><td rowspan="2">265</td></tr>
<tr><td>AS2</td><td>290</td><td>271</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5203</td><td>AS1</td><td>337</td><td rowspan="2">312</td><td>348</td><td rowspan="2">316</td><td rowspan="2">255</td></tr>
<tr><td>AS2</td><td>286</td><td>284</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5504</td><td>AS1</td><td>389</td><td rowspan="2">337</td><td>376</td><td rowspan="2">337</td><td rowspan="2">265</td></tr>
<tr><td>AS2</td><td>285</td><td>297</td></tr>
</table>

2.9.15.4　本件編成の走行抵抗

本件編成の走行抵抗による減速度は、2.3.2.9 に記述したように、本件車両メーカーより

$9.8\times(11.85+0.0382V+0.0678V^2/W)$　N／t　ただし、V＝速度(km/h)、W＝質量(t)

という式が示されているが、これが現車の数値と整合しているかを確認するために、本試験において本件編成の明かり区間と隧道内の走行抵抗による減速度を測定した。

湘南深沢駅出発後の水平区間において、速度約２５．５km/h で惰行すると、約８秒後の速度が約２２．１km/h となったことから、明かり区間における本件編成の速

度約２５km/h の走行抵抗による減速度は、約０．４km/h/s であった。

鎌倉山隧道内の下り３２‰こう配区間を、速度約６２km/h でノッチオフしたところ、約８秒後に速度が約６４km/h になった。この区間のこう配抵抗による加速度を考慮すると、鎌倉山隧道内の走行抵抗による減速度は、約０．９km/h/s（速度約６０km/h）であった。

２．１０　訓練に関する情報

同社では、乗務員に対する定例訓練が２ヶ月ごとに行われている。この中で現車の脱出袋を使った非常脱出訓練は年２回の頻度で行われており、最近の２年間を見ると、平成１８年は５月と１１月に、平成１９年は５月と１０月に行われていた。

３　分　析

３．１　軌道に関する分析

2.3.1.2 に記述したように、湘南深沢駅～西鎌倉間駅間の軌道については、直近の検査において、列車走行に影響するような異常は認められていないこと、2.4.2(3)に記述したように、本事故後の西鎌倉駅構内の軌道には、列車衝突による損傷以外の異常は認められなかったこと、2.4.2(4)に記述したように、本事故後、同社が実施した湘南深沢駅～西鎌倉駅間の軌道走行面の検査において異常が認められなかったこと、及び 2.9.2 表７に記述した軌道回路の在線時間から、本件列車に先行する５本の列車の走行状態に異常は認められないことから、軌道には本事故の要因となるような異常はなかったものと推定される。

３．２　ＡＴＳの機能に関する分析

同社の江の島線には速度照査式のＡＴＳが設置されているが、本事故では本件列車が停止信号を現示していた西鎌倉駅下り出発信号機を冒進して西鎌倉駅の＃４６分岐器に衝突した。これは、ＡＴＳは、運転士のブレーキ操作遅れによる事故等を防止するものであって、ブレーキ指令等が正しく出されているにもかかわらずブレーキ力が低下するような事故等に対しては、防止機能を活かせないことによるものと考えられる。

２．１(1)に記述したように、本事故では、本件運転士は、４ｋ５０６ｍ～４ｋ５２８ｍ付近でマスコンを非常ブレーキ位置としたと口述し、ＡＴＳのアラーム等については特に口述していない。これは、2.3.2.10 に記述したように、同社のＡＴＳは、ＡＴＳにより非常ブレーキが動作する前にマスコンを非常ブレーキ位置とした場合に

は、ＡＴＳのアラームが鳴動しない仕様となっているため、本件運転士が非常ブレーキを使用した後に本件列車の速度がＡＴＳの照査速度を超えてもアラームは鳴動しなかったものと考えられる。

2.3.2.10 に記述したように、同社のＡＴＳには動作を記録する機能はないが、2.4.2(4)及び2.4.3(9)に記述したように、事故後のＡＴＳの地上設備及び車上装置に異常は認められなかったことから、本事故発生時にＡＴＳは正常に機能していたものと考えられる。

このことから、本件列車は、本件運転士が非常ブレーキを使用した４ｋ５０６ｍ～４ｋ５２８ｍ付近より手前では、付図１３に示したＡＴＳの照査速度を超えていなかったものと考えられる。

（付図１３　湘南深沢駅～西鎌倉駅間の本件列車に対するＡＴＳ速度照査パターン参照）

３．３　連動装置の記録に関する分析

2.9.2 表７に記述した本件列車の各軌道回路の在線時間及び軌道回路長から、本件列車の各軌道回路の平均通過速度（当該軌道回路に先頭車両の負パンタグラフが進入してから、後部車両の負パンタグラフが抜けるまで）は表１０のとおりであったと推定される。

表１０　湘南深沢駅～西鎌倉駅間軌道回路の平均通過速度

区　間	湘南深沢駅構内（湘南江の島駅方）	湘南深沢駅～西鎌倉駅間	西鎌倉駅構内（大船駅方）	西鎌倉駅構内（下りホーム）
軌道回路名称	３２Ｔ	Ｃ／ＤＦＴ	４５Ｔ	４１ＲＴ
軌道回路長（ｍ）	２７８	１５８８	１５８	６０
在線時間（ｓ）	３４．８	９９．７	１９．１	１４．０
平均通過速度（km/h）	３１．９	５８．４	３５．５	２３．２

※　本件列車の先頭車両と後部車両の負パンタグラフ間の距離は３０．４ｍ
　　軌道回路長は、負電車線の絶縁間距離の実測値

３．４　電制スイッチの取扱いに関する分析

2.4.5 に記述したように、本事故後に当委員会の調査官が確認した本件列車の電制スイッチは、３両目が「切」、１両目が「入」であった。

しかしながら、以下の理由により、本件列車が湘南深沢駅～西鎌倉駅間を走行中は、１両目の電制スイッチについても切れていたものと考えられる。

(1)　2.4.5 に記述したように、当委員会の調査官到着前に１両目の運転台を監視

した助役が「切れていたので入れた」と口述していること。

(2)　2.4.5 に記述したように、本件運転士及び本件運転士から運転台の監視を引き継いだ運転士がいずれも、本事故後に、(入っていた) 電制スイッチを「切」としたかどうかは覚えていないと口述していること。

(3)　２．１(1)に記述したように、本件運転士は鎌倉山隧道内を運転中、ＢＣ圧の指針が横に振れた（真横で２００kPa）のを見たと口述していること。
(2.3.2.6(2)に記述したように、回生ブレーキが作用していた場合、ＢＣ圧は初込め圧である約３０kPa を指す)

(4)　２．１(2)に記述したように、本件車掌は湘南深沢駅～西鎌倉駅間で、「キー」という音を聞いたと口述し、これは回生ブレーキが立ち上がるとしなくなるディスクブレーキの音であると考えられること。

また、2.4.5 に記述したように、本件列車の電制スイッチは本線運用の途中で操作されるスイッチではないにもかかわらず、本事故発生時に少なくとも３両目の電制スイッチは確実に切れていたこと及び 2.4.5 に記述したように、本件運転士は本件編成の電制スイッチが出区時点において「確実に入っていたかどうかはわからない」と口述していることから、本件列車の１両目及び３両目の電制スイッチは、本件編成が出区した時点から切れていた可能性があると考えられる。

３．５　車両に関する分析

3.5.1　応荷重信号に関する分析

以下のような事実から、本件編成の応荷重認識に関しては、５５０３号は実際よりも大きい荷重を認識する傾向があったものと考えられる。

(1)　2.3.2.12 及び 2.9.6 に記述したように、５５０３号のＡＳ圧は、納入時の試運転及び本事故発生後の調査のいずれにおいても実際の荷重は空車であったにもかかわらず高めの圧力を示していたこと。

(2)　2.4.4(3)に記述したように、本事故後における５５０３号の運転台のＢＣ圧が、乗車率約８９％の非常ブレーキに相当する圧力を指していたこと。

(3)　2.9.1 に記述したように、運転士に対するアンケート調査において８０％の運転士が本件編成は１次車と比較してブレーキの効きがよいと回答していること。

５５０３号が実際よりも大きい荷重を認識していたことについては、2.9.6 に記述したように、全４箇所の平均値は設計値に近かったものの、応荷重信号の測定点である２箇所のＡＳ圧の値が他の２箇所と比較して高かったことから、４箇所の空気ばねが受ける荷重にアンバランスがあり、応荷重信号の測定点である２箇所がともに高めの荷重を認識していたことによるものと推定される。

一方、2.9.15.3 表９に記述したように、本件編成は本事故による損傷の修復のため、台車やモーター等の取り外し及び取り付けを行った結果、機器類の追加等をしていないにもかかわらず、本事故発生前と異なり、５５０３号が空車の条件を正しく認識し、５２０３号及び５５０４号は実際よりも大きい荷重を認識するようになった。このことから、本件編成における応荷重制御の荷重認識のずれは、４箇所ある空気ばねのうち２箇所のＡＳ圧から荷重を認識するという仕組みから比較的容易に起こり得るものと考えられる。

なお、2.4.4(2)に記述したように、本事故後における５５０４号の運転台のＢＣ圧は、乗車率約３５％の非常ブレーキに相当する圧力を指していたが、2.4.1 に記述したように、事故後の５５０４号の先頭台車は＃４６分岐器に衝突した状態であったので、この数値は本件列車が湘南深沢駅から西鎌倉駅間を走行したときの荷重認識を忠実に表したものとはいえない。ＡＳ圧に関係するデータを記録する機能がない本件編成において、本事故発生時の応荷重信号を推定することは難しいものと考えられる。

2.3.2.12 表４、2.9.6 表８及び 2.9.15.3 表９に記述したように、本件編成納入時～本線走行試験実施時において、試験要員及び試験機材を搭載した５５０３号及び５５０４号が、それぞれ 2.3.2.8 の表３に記述した空車～定員乗車の範囲で応荷重信号を認識していることから、以降の分析では、本事故発生時にほぼ空車であった本件編成の応荷重信号の認識値は、本事故前後の測定結果である５５０３号が定員、５２０３号及び５５０４号が空車、を基本としつつも、各車が空車～定員乗車の範囲で応荷重信号を認識する可能性があるものとして扱うこととする。

3.5.2　ブレーキ制御装置等に関する分析

2.9.5(2)に記述したように、本事故後の車両調査において、常用、非常及び保安の各ブレーキの取扱いに対してすべてのキャリパの油圧は基準範囲内であったことから、本事故発生時において運転台のマスコン、非常ブレーキ引きスイッチ及び保安ブレーキスイッチから各車のブレーキ制御装置までのブレーキ指令電気系統、各車の空気だめからブレーキ制御装置を経由して各台車の増圧シリンダまでの空気制御系統、並びに各台車の増圧シリンダからキャリパまでの油圧系統に異常はなかったものと考えられる。

また、2.9.10 に記述したブレーキディスク試験において、パッド温度が５００℃まで上昇する条件で試験を行った場合であっても、ブレーキオイルの温度は最大で８１℃であったこと、及び 2.9.11 に記述した本線走行試験（１）において、パッドの温度が２５０～２８０℃まで上昇したときのブレーキオイルの温度が４０～６０℃であったことから、これらの温度は 2.3.2.6(8)に記述したブレーキオイルの

メーカーの保証値である２００℃に対して十分余裕があり、また、2.9.5(7)に記述したように、本事故後の本件列車のブレーキオイルに劣化傾向が認められなかったことから、本事故発生時においてブレーキオイルに気泡が発生し、ブレーキ力が低下する「ベーパーロック現象」は発生していなかったものと推定される。

3.5.3　ブレーキディスクに関する分析

3.5.3.1　ブレーキディスクの材質

2.3.2.7 表２に記述したブレーキディスク材料の物性値から、１次車と比較した２次車のブレーキディスクの特徴は、以下のとおりである。

(1)　熱伝導率が小さいことから、熱がこもりやすい

(2)　比熱が小さいことから、同じブレーキでディスクの温度が上がりやすい

(3)　線膨張係数が大きいことから、同じ温度上昇があった場合、伸びが大きい

(4)　縦弾性係数が大きいことから、同じ歪みがあった場合、発生する応力が大きい

(5)　ディスクの強度が小さいことから、より小さな応力でき裂が発生する

上記(1)～(5)から、本件編成で採用されたブレーキディスクは、１次車のものと比較すると同じブレーキをかけた場合に発生する応力が大きく、ブレーキディスク自体の引張り強度が小さいので、熱疲労によるき裂が発生しやすい材料であったものと推定される。

3.5.3.2　本事故発生時のブレーキディスク温度

３．４に記述したように、本事故発生時においては本件列車の１両目及び３両目の電制スイッチは切れていたものと考えられることから、本事故発生時は回生ブレーキを使用する通常の運転と比較して、空制ブレーキの使用が増加してブレーキディスクの温度が高くなっていたものと考えられる。

想定される温度については、2.9.5(5)に記述したようにブレーキディスク材料のテンパーカラーのうち、パッドとの摺動部に３５０℃に相当する青みがかった色が見られたことから、本事故発生時のブレーキディスクの温度は、３５０℃程度かそれ以上であった可能性があると考えられる。その一方で、2.9.10 に記述したように、本件編成のパッドには、温度が５００℃まで加熱されたときに見られる樹脂成分が溶けた痕跡や塗装部の変色が見られなかったことから、ブレーキディスクの温度は５００℃までは達していなかったものと推定される。

（付図１１　ブレーキディスク材料のテンパーカラー、付図１７　事故後のブレーキディスク及びパッド､付図２７　ブレーキディスク試験後のパッド(約５００℃まで上昇)　参照)

3.5.3.3　ブレーキディスクのき裂に関する分析

2.3.2.13 に記述したように、本件編成のブレーキディスクには、本事故発生前の２月１９日の列車検査時に異常は発見されていなかったが、2.4.3(3)に記述したように、本事故後にすべてのブレーキディスクからき裂が発見された。

これは、２．１(1)に記述した本件運転士の口述にあるように、本事故では本件運転士がマスコンにより力行操作をしていないにもかかわらず本件列車が力行した可能性が高く、そのような状態でマスコンによりブレーキ操作をすることで力行とブレーキが同時に作用し、ブレーキディスクの温度が設計時の想定を超えて高くなったことによるものと考えられる。

しかし、2.9.10 に記述したブレーキディスク試験では、温度約２００～２５０℃における常用ブレーキ５ステップ相当のブレーキで、７回実施した試験すべてにおいてブレーキディスクにき裂が発生した。このき裂は、2.3.2.7 に記述した非常ブレーキ使用時の温度として想定されている２５０℃を下回る温度での常用ブレーキ相当のブレーキ力で発生したものもあることから、本件編成のブレーキディスクとして必要な強度を有していない可能性があると考えられる。

本件編成のブレーキディスクの材料については、2.3.2.7 に記述したとおり、本件車両メーカーは１次車とは異なる材料を特に試験等を行うことなく採用していたが、ブレーキは保安上重要な部品であるので、仕様を変更する場合は、十分な検討を行った上で採用すべきである。

なお、2.9.10 に記述したブレーキディスク試験において、き裂の発生に伴う摩擦係数の急激な変化はないことから、ブレーキディスクのき裂は、直接的には本件列車のブレーキ力低下に影響していないものと推定される。

（付図２６　温度上昇による摩擦係数の推移　参照）

3.5.4　本件編成の力行指令系統の配線艤装に関する分析

2.9.9.1 及び 2.9.9.2 に記述したように、本事故後の車両調査においてマスコン内部や低圧ツナギ箱内部等に製造時の作業によるものと思われる切粉、未使用のビス及び素線等が相当数発見されたが、直接混触と結びつくような通電痕や異物は発見されなかった。

このことから、これらの切粉、未使用のビス及び素線等が引き通し指令線の混触を発生させた可能性について調査を実施したところ、2.9.9.2 に記述したように、切粉を端子に接触させ、さらに両端を絶縁ドライバーで押し付けた場合やマスコン接点のねじ部にバインド線を載せた場合に通電痕等が残らずに２台のＶＶＶＦインバータが指令を認識することが判明した。

一方、2.9.4(4)に記述したように、本件列車の高速度遮断器の自己遮断の０．７秒

前には、５５０３号のＶＶＶＦインバータには力行指令がなかった。

このような状況から、異物が引き通し指令線の混触を発生させたとすると、

(1) 本件運転士が湘南深沢駅を出発してから速度約２０km/h でノッチオフするまでの力行操作中に、少なくとも３線１本の混触が発生した。

(2) 発生した混触が、湘南深沢駅～西鎌倉駅を走行中の車両で継続した。

(3) 湘南深沢駅～西鎌倉駅で継続していた混触が、本事故の発生直前に解消した。

という条件をすべて満たす必要があることから、このような事象が発生した可能性は極めて低いものと考えられるが、通電痕等が残らずＶＶＶＦインバータが指令を認識する可能性があったことから、車両調査のみでは引き通し線の混触が発生した可能性を否定することができなかった。

なお、本事故が力行指令に関する配線での混触に起因するかどうかにかかわらず、低圧ツナギ箱等の内部に切粉、未使用のビス及び素線等が相当数存在するのは混触を引き起こす可能性があり望ましくないので、車両の製造やメンテナンスにあたっては、このようなことがないように注意すべきである。

（付図２３　切粉による混触試験（低圧ツナギ箱）、付図２４　バインド線による混触試験（マスコン内部）　参照）

3.5.5　ＶＶＶＦインバータに関する分析

3.5.5.1　故障記録に関する分析

2.9.4 に記述したように、５５０３号のＶＶＶＦインバータには本事故発生と同時刻にフィルタコンデンサ低電圧と高速度遮断器自己遮断の故障記録があり、この故障の前後合わせて約１秒間の記録を見ると、速度が約１２．５km/h から約１．１km/h に急低下し、架線電圧が、約１，５９５Ｖから約０Ｖに急低下していた。これらのことから、この故障記録は、本件列車が西鎌倉駅構内の＃４６分岐器に衝突し、架線停電が発生したことに起因するものと推定される。故障記録が５５０３号のみで、５５０４号のＶＶＶＦインバータには記録されていなかったことについては、①５５０４号のＶＶＶＦインバータに故障が記録されないような異常が発生していた可能性、②５５０４号より５５０３号のフィルタコンデンサの低電圧検知が早かったため、ＶＶＶＦインバータの仕様により５５０３号のみに故障が記録された可能性、が考えられるが、ＶＶＶＦインバータの故障記録からはどちらの理由によるものか明らかにすることはできなかった。

3.5.5.2　５５０４号のＶＶＶＦインバータの異常動作に関する分析

2.9.13 に記述したように、本件編成は本事故による破損箇所修復後の構内試運転において、５５０４号のみのＶＶＶＦインバータが起動不能又は力行継続となる事

象が発生した。このときのトラブルについては、2.9.14 に記述したＶＶＶＦインバータの異常動作に関する調査の結果から、以下のようなメカニズムで発生したものと考えられる。

(1)　ＶＶＶＦインバータ内のゲート電源装置の高周波ノイズが、同装置の電源マイナス極側である１００ａ線に重畳した。

(2)　１００ａ線に使われている電線の断面積が小さく、かつ、５５０４号では、ゲート電源装置から５５０３号に設けられている車体接地箇所までの距離が長いため、ゲート電源装置から発生したノイズが車体接地箇所側に流れにくい状態であった。

(3)　ドア開閉やブレーキ操作により車両内の電気機器の負荷が変動し、５５０４号の１００ａ線の対車体電位が上昇したことにより、１００ａ線に重畳したノイズがＶＶＶＦインバータ内部の１００ＣＡ線側により多く回り込むようになった。

(4)　ＶＶＶＦインバータ内部にある分圧抵抗盤とゲート制御装置を結ぶ４８芯シールドケーブル内の電磁誘導で、１００ＣＡ線に回り込んだ高周波ノイズが、ノイズ対策が不十分な未使用のモニタ伝送回路に重畳した。

(5)　未使用のモニタ伝送回路に重畳したノイズが、ＶＶＶＦインバータ内のモニタ伝送回路のデータ伝送ＩＣに受信データと認識された。

(6)　加減速シーケンスを処理するＣＰＵがモニタ伝送回路からの受信データを「伝送開始」に続き「エラー」と認識したことにより、不正割り込みが発生した。

(7)　不正割り込みが発生したため、他のすべての割り込みが禁止された結果、「タイマー割り込み」が受け付けられず、加減速シーケンス処理起動カウンタが進まなくなり、加減速シーケンスの処理をしなくなった。

(8)　ゲート制御装置内で加減速シーケンスの処理がされなくなったため、運転士がマスコンを操作してもＶＶＶＦインバータはマスコン指令等の情報を更新しなくなった。

(9)　ＶＶＶＦインバータの加減速シーケンスが処理されなくなったものの、メインプログラム自体は動作しているのでＷＤＴのリセットを続けた。

(10)　ＷＤＴはリセットされ続けるので、主回路電流遮断及びＶＶＶＦインバータ再起動の保護動作は行われず、当該のＶＶＶＦインバータは、マスコン指令にかかわらず、不正割り込みが発生する直前の状態（停止や力行）を継続するようになった。

（2.3.2.4　図１　５０００系のＶＶＶＦインバータ制御プログラム（加減速制御関係）及びＷＤＴの概要、付図３０　ＶＶＶＦインバータのノイズ重畳経路　参照）

３．６　本事故発生時における本件列車の走行条件に関する分析

2.3.2.11 に記述したように、本件列車には「列車の運行状況を記録する装置」が取り付けられていないため、本事故発生時における本件列車の走行条件を正確に把握することは困難である。

そこで、事実調査の結果から、本事故発生時における本件列車の走行状態を推定するための情報について整理する。

3.6.1　加減速度に関する基本的な考え方

2.3.2.12 に記述した本件編成納入時における加減速性能のデータは、走行抵抗の影響を分離すると、以下のように表すことができる。

なお、これまで記述した加速度及び減速度に対して、以下の分析では、方向を明らかにするために進行方向を正として正負の値で表すこととする。

また、湘南深沢駅～西鎌倉駅間の線路条件では曲線抵抗による減速度は走行抵抗による減速度と比較して十分に小さいので、ここでは無視することとする。

[試験における力行の加速度]＝[駆動力による加速度]＋[走行抵抗による減速度]･･･(式1)

[試験におけるブレーキの減速度]＝[ブレーキ力による減速度]＋[走行抵抗による減速度]･･･(式2)

一方、２．１(1)に記述した本件運転士の口述などから、本事故発生時には力行とブレーキが同時に作用していたものと考えられるが、このときの減速度は、走行抵抗の影響を分離すると、以下のように表すことができる。

[本事故時の減速度]＝[駆動力による加速度]＋[ブレーキ力による減速度]＋[走行抵抗による減速度]･･･(式3)

3.6.2　走行抵抗に関する分析

2.3.2.9 に記述したように、本件編成の走行抵抗による減速度は、本件車両メーカーから以下の式が示されている。

$9.8\times(11.85+0.0382V+0.0678V^2/W)$ N／t　･･･(式4)

ただし、V＝速度(km/h)、W＝質量(t)

この式で各速度における走行抵抗による減速度を計算すると表１１のとおりであった。

表１１　５０００系の走行抵抗（空車）

速度（km/h）	走行抵抗による減速度	
	（Ｎ／ｔ）	（km/h/s）
６０	－１８６	－０．７
５０	－１６８	－０．６
４０	－１５２	－０．６
３０	－１３９	－０．５
２０	－１２９	－０．５
１０	－１２１	－０．４
０	－１１６	－０．４

なお、2.9.15.4 に記述したように、本件編成を使用した走行試験から算出した明かり区間における速度約２５km/h の走行抵抗による減速度は約－０．４km/h/s であり、上式から計算した約－０．５km/h/s より若干低めであったが、おおむね一致しているものと考えられる。

一方、隧道内の走行抵抗による減速度は、2.9.15.4 に記述したように、本件編成を使用した本線走行試験における速度約６０km/h での鎌倉山隧道内の走行抵抗による減速度は約－０．９km/h/s となっており、表１１に記述した速度約６０km/h のときの走行抵抗による減速度の計算値である－０．７km/h/s よりやや大きな値となっている。これは、隧道内では明かり区間と比較して空気抵抗が大きくなることによるものと推定される。本事故発生前に本件列車が走行した鎌倉山隧道内においては、本件列車は速度約６０～７０km/h で走行したと考えられることから、この区間の走行抵抗による減速度は現車試験で得られた－０．９km/h/s とするのが妥当であると考えられる。

3.6.3　駆動力による加速度に関する分析

2.3.2.12 に記述したように、本件編成納入時の試運転における速度約４～３４km/h にかけての力行４ノッチの加速度は約４．１km/h/s であった。また、この速度域における走行抵抗による減速度は、3.6.2（式４）をもとに算定した 3.6.2 表１１の値から、平均約－０．５km/h/s であったものと考えられる。

このこと及び 3.6.1（式１）に記述した「試験における力行の加速度」と「駆動力による加速度」との関係から、納入時の試運転における速度約４～３４km/h の「駆動力による加速度」は、約４．６（４．１－（－０．５））km/h/s であったものと考えられる。なお、この間のＶＶＶＦインバータのトルク指令値は、付図１２に示した

ノッチ曲線から、ほぼ起動時の状態で一定であったとみなすことができる。

一方、2.3.2.12 表４に記述した本件編成の納入時のＡＳ圧及び 2.3.2.8 表３に記述した応荷重制御の特性値より推定すると、トルク指令値は５５０３号が約５００Ｎ･m程度、５５０４号が約３９７Ｎ･m程度であったものと考えられる。

本件編成の加速トルクは、「５５０３号のＶＶＶＦインバータによる加速トルク」と「５５０４号のＶＶＶＦインバータによる加速トルク」の和であり、両車の加速トルクの比が約５：４（５００：３９７）であることから、定員相当の荷重を認識した５５０３号のＶＶＶＦインバータの駆動力による加速度が２．６km/h/s 程度、空車相当の荷重を認識した５５０４号のＶＶＶＦインバータの駆動力による加速度が２．０km/h/s 程度であったものと考えられる。

（付図１２　５０００系ノッチ曲線（定員　架線電圧１，５５０Ｖ）　参照）

3.6.4　非常ブレーキの減速度に関する分析

3.6.4.1　ブレーキディスクが常温のときの非常ブレーキの減速度

2.3.2.12 に記述したように、本件編成納入時の試運転における荷重条件がほぼ空車のときの速度約６０km/h～停止までの非常ブレーキの減速度は、－４．８～－４．２（平均約－４．４）km/h/s に分布しており、平均値に対して１０％程度のばらつきがあった。また、このときの走行抵抗による減速度は、3.6.2 表１１に記述した各速度域における走行抵抗による減速度の値から平均約－０．５km/h/s であったものと考えられる。

このこと及び 3.6.1（式２）に記述した「試験におけるブレーキの減速度」と「ブレーキ力による減速度」との関係から、納入時の試運転における速度約６０km/h～停止までの「非常ブレーキ力による減速度」は、ほぼ－４．３～－３．７（平均約－３．９）km/h/s の範囲に分布するものと考えられる。

また、2.3.2.8 表３及び 2.3.2.12 表４に記述したように、本件編成の納入時における応荷重信号の認識は、５５０３号がほぼ定員相当、５２０３号及び５５０４号がほぼ空車相当であったことから、3.5.1 に記述したように、応荷重信号の認識値として３両全車が空車又は定員相当の荷重認識をする可能性を考慮すると、想定される上限及び下限は図３に示すようになる。よって、本件編成の走行抵抗の影響を除いた非常ブレーキ力による減速度は、おおよそ－４．８～－３．５km/h/s の範囲であったものと考えられる。

				非常ブレーキ減速度
想定する下限	5503	5203	5504	-4.0〜-3.5km/h/s 最小
応荷重認識	空車	空車	空車	「試運転時の値」× $\frac{300}{320}$
BC圧(空車比)	100%	100%	100%	
納入時の状態	5503	5203	5504	-4.3〜-3.7km/h/s 試運転時の値
応荷重認識	定員	空車	空車	
BC圧(空車比)	120%	100%	100%	
想定する上限	5503	5203	5504	-4.8〜-4.2km/h/s 最大
応荷重認識	定員	定員	定員	「試運転時の値」× $\frac{360}{320}$
BC圧(空車比)	120%	120%	120%	

図３　応荷重認識の変動を考慮した本件編成の非常ブレーキ力による減速度の範囲

3.6.4.2　ブレーキディスクの温度が上昇したときの非常ブレーキ力による減速度

3.5.3.2 に記述したように、本事故発生時における本件列車のブレーキディスクの温度は、３５０℃程度には達したものの５００℃までは達していなかったものと推定される。このこと及び 2.9.10 に記述したブレーキディスク試験の結果から、本事故発生時の非常ブレーキ力による減速度は、ブレーキディスクが常温の場合と比較して２０～３０％程度低下していたものと考えられる。

3.6.4.1 に記述したように、本件列車の非常ブレーキ力による減速度は約－４．８～－３．５km/h/s であると考えられることから、ブレーキディスクとパッドの温度上昇によるブレーキ減速度の低下を考慮すると、本事故発生時における本件列車の非常ブレーキ力による減速度は、おおよそ－３．８（－４．８×０．８）～－２．５（－３．５×０．７）km/h/s の範囲であったものと考えられる。

3.6.5　異常な力行に関する分析

3.6.5.1　「急加速」に関する分析

２．１(1)に記述したように、本件運転士は、本件列車が湘南深沢駅出発時に「力行１か２ノッチにすると列車が急加速したため、ブレーキ２ステップに入れて列車を減速させて速度約２０km/h で＃３２分岐器を通過した」と口述している。

この「急加速」については、鉄道車両の場合、一般的に２ノッチに対して３、４ノッチなどの上位ノッチをとった場合であっても起動時における加速度は同じであることから、本件運転士が＃３２分岐器を制限速度である２０km/h 以下で通過しようとしてノッチオフしたにもかかわらず、本件列車が力行を続けたことを「急加速」と感じ、このような口述をしたものと考えられる。

3.6.5.2　異常な力行が始まった地点に関する分析

異常な力行が始まった地点については、2.9.2 表７に記述した富士見町駅～西鎌倉駅間の軌道回路在線時間を比較すると、７Ｔ区間から３１Ｔ区間までは、本件列車は先行する４本の列車とほぼ同じ時間で走行していることから、２．１(1)に記述した本件運転士の口述のとおり、本件列車が湘南深沢駅に到着するまでは異常はなく、湘南深沢駅を出発してから異常な力行が発生したものと考えられる。

3.6.5.3　異常な力行の原因に関する分析（１）

本事故における運転士の操作によらない異常な力行動作の原因としては、車両調査の結果から、以下のような要因は排除できるものと考えられる。

(1)　3.5.5.1 に記述したように、本件編成のＶＶＶＦインバータの故障記録は、本事故による架線停電に係る事象のみであるので、運転士の操作によらない異常な力行動作が発生した時点においては、モーターの過電流や速度センサーの異常など、ＶＶＶＦインバータの故障検知が働くような不具合

(2)　2.9.7 に記述したように、空ノッチ試験において現象が再現しないことから、ＶＶＶＦインバータの加減速シーケンス自体の異常

(3)　2.9.8 に記述したように、力行指令線を含む引き通し線の線間の絶縁抵抗測定において絶縁抵抗の低下等の異常は認められなかったことから、引き通し線間の絶縁破壊による異常な力行指令

3.6.5.4　異常な力行の原因に関する分析（２）

運転士の操作によらない異常な力行動作の原因として、3.6.5.3 に記述した要因を除外し、さらに車両調査の結果を考慮すると、以下の原因を検討する必要があるものと考えられる。

(1)　2.9.9 に記述したように、引き通し線の混触調査において、運転台マスコン内部や低圧ツナギ箱内部に通電部が露出している端子があり、これらの周辺にアルミの切粉、未使用のビス及び素線等が相当数あったこと、及びマスコン内部や低圧ツナギ箱内部で力行指令線に直流１００Ｖを強制的に混触させたところ、通電痕が残らずに本件編成の２台のＶＶＶＦインバータが２台とも指令を認識したことから、‘切粉等により混触が発生した可能性’（以下「混触等による力行指令」という。）

(2)　2.9.13 に記述したように、本件編成の構内試運転において５５０４号のＶＶＶＦインバータがマスコン指令を受け付けない状態が複数回発生し、3.5.5.2 に記述したように、その発生メカニズムを分析した結果、本事故時においても発生した可能性があると考えられることから、‘５５０４号のＶＶ

ＶＦインバータがマスコン指令を受け付けず直前の力行動作を継続した可能性’（以下「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」という。）

なお、2.3.2.14 に記述した、本件編成の運用が開始されてから約２ヶ月後の平成２０年２月６日に発生したＶＶＶＦインバータの起動不能故障は、①５５０４号のＶＶＶＦインバータのみがマスコン指令を新たに認識しなくなったこと、②ＶＶＶＦインバータの故障記録機能が動作しなかったこと、③ＶＶＶＦインバータのＷＤＴによる保護動作が働かなかったこと、という３つの事象に対する類似性から、(2)の「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」による可能性があるものと考えられる。

3.6.5.5　「混触等による力行指令」による場合の力行ノッチに関する分析

本事故時における異常な力行が「混触等による力行指令」による場合、2.9.9.2 に記述した、切粉等による導通の可能性に関する調査の結果から、本件編成のＶＶＶＦインバータは２台とも力行するものと推定されるので、本件編成は該当するノッチの通常の力行と同じ加速をするものと推定される。また、2.3.2.3 に記述したように、この区間において本件編成を運行する場合は、通常３ノッチ以上が使用されており、2.9.2 表７に記述したように、本件列車は湘南深沢駅～西鎌倉駅間を先行する５本の列車よりも短い時間で走行していることから、異常な力行がこの原因により発生したとすれば、３ノッチ以上の力行指令が発生したものと考えられる。

本件列車が３ノッチで力行するためには、2.3.2.3 表１に記述したように、３線、４線及び５線の３本の指令線が加圧される必要があるが、2.9.9 に記述した引き通し線混触調査の結果から、１本の指令線においても混触が発生する可能性は低いものと考えられることから、３本の指令線が同時に混触により加圧される可能性は非常に低いものと考えられる。

他方、２．１(1)に記述したように、本件運転士は、本件列車の異常が発生したと見られる直前である湘南深沢駅出発時には「力行１か２ノッチにすると列車が急加速した」と口述しているが、2.9.1(3)に記述した運転士に対するアンケート調査から、本件運転士が２ノッチを投入しようとしたときに誤って３ノッチを投入した可能性もあると考えられる。また、2.3.2.3 に記述したように、本件編成の加減速制御には戻しノッチのシーケンスがないため、３ノッチを投入している間に３線が１本だけ不正に加圧されれば、３線の加圧がなくなるまで３ノッチ相当の力行を継続することになる。

これらのことから、もし、本事故時の異常な力行が混触等により発生したとするならば、本件運転士が２ノッチで力行しようとしたが誤ってマスコンを３ノッチに投入し、そのときに３線１本の混触が発生したために３ノッチ相当の力行が継続し

たとするのが妥当であると考えられる。

3.6.5.6　「混触等による力行指令」の駆動力による加速度

本事故時における異常な力行が「混触等による力行指令」による場合、3.6.5.5 に記述したように、本件編成は通常の３ノッチと同じ加速度で力行するものと推定される。このときの駆動力による加速度は、3.5.1 に記述したように、２台のＶＶＶＦインバータが応荷重制御において、ともに空車を認識した場合から、ともに定員を認識した場合を範囲として考えると、3.6.3 に記述した駆動力による加速度に関する分析結果から、起動時の加速度が４．０（２．０×２）～５．２（２．６×２）km/h/s 程度となり、その後は付図１２に示したノッチ曲線に従って、速度の上昇とともに加速度が低下するものと考えられる。

3.6.5.7　「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」の駆動力による加速度

本事故時における異常な力行が、「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」による場合、3.5.5.2 に記述したように、この異常は５５０４号のみで発生し、異常が発生した時点のトルク指令が維持されるため、異常が発生した時点の駆動力による加速度を維持するものと考えられる。

3.6.5.2 に記述したように、異常な力行が始まった地点は本件列車が湘南深沢駅を出発した直後であり、付図１２に示したノッチ曲線では起動直後の高いトルク指令が出ていたものと考えられる。このときの５５０４号のＶＶＶＦインバータの駆動力による加速度は、3.5.1 に記述したように、応荷重制御において、空車を認識した場合から定員を認識した場合を範囲として考えると、3.6.3 に記述した駆動力による加速度に関する分析結果から、２．０～２．６km/h/s の範囲であると考えられる。また、この駆動力による加速度は、3.6.5.6 に記述した「混触等による力行指令」の場合とは異なり、速度が上昇してもトルク指令値が更新されないため付図１２に示したノッチ曲線に従って低下せず、起動直後の加速度が高い状態を維持するものと考えられる。

３．７　本件列車の西鎌倉駅通過時の加減速度に関する分析

2.3.2.11 に記述したように、本件編成には運転状況を記録する装置が搭載されていないため、本事故時の本件列車の運転状況を正確に分析することは困難であるが、西鎌倉駅通過時の走行状態に関する客観的な情報として、2.9.3 に記述した西鎌倉駅の監視カメラ映像及び 2.9.2 に記述した連動装置の記録があるため、本件列車の走行状態をある程度絞り込むことが可能である。

3.6.5.4に記述したように、本件列車の異常な力行動作の原因としては、(1)「混触等による力行指令」、及び(2)「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」の可能性が考えられ、それぞれの場合におけるマスコンからの力行指令がなくなった後の駆動力による加速度が異なることから、この２種類の原因による異常な力行が発生した場合の本件列車の挙動と、本件列車が西鎌倉駅を通過したときの客観情報を比較することにより、本件編成の異常な力行の原因について分析することが可能である。

3.7.1　西鎌倉駅通過時における本件列車のブレーキの状態

２．１(1)に記述したように、本件運転士は西鎌倉駅下り場内信号機手前にある深西４０から深西４１にかけてマスコンを非常ブレーキ位置としたと口述し、２．１(2)に記述したように本件車掌は西鎌倉駅下り場内信号機付近でマスコンが非常ブレーキ位置にあったのを見たと口述している。これらのことから、本件編成が西鎌倉駅下り場内信号機付近を走行していたときは、本件列車には非常ブレーキが作用した状態であったものと考えられる。

3.7.2　西鎌倉駅の監視カメラ映像から分析した本件列車の減速度

以下のことから、本件列車が西鎌倉駅を通過したときの減速度は、ほぼ一定であったものと考えられる。

(1)　2.3.1.2に記述したように、西鎌倉駅手前の４ｋ６３７ｍから衝突地点である４ｋ８１４ｍまではこう配はないこと。

(2)　3.6.2表１１に記述したように、速度約３０km/hから２０km/hまでの走行抵抗による減速度は、約－０．５km/h/sでほぼ一定とみなせること。

(3)　3.7.1に記述した本件列車の非常ブレーキ投入時期から、本件列車が西鎌倉駅を通過している間に作用していたブレーキは、全区間において非常ブレーキであったものと考えられること。

本件列車が西鎌倉駅を通過したときの減速度が一定で、かつ、通過速度が 2.9.3に記述した監視カメラ映像のとおりであった場合、本件列車が西鎌倉駅を通過したときの位置と速度の関係を図４に示す。

なお、以下の分析において、本件列車のキロ程は、先頭部の位置を基準として記述する。本件編成の先頭位置と、負パンタグラフの位置は付図８に示した関係にあるので、本件編成は軌道回路の始点の約５ｍ先から、終点の約３５ｍ先までを走行する間が当該軌道回路の在線時間となる。

（付図８　負パンタグラフ及び接地ブラシの配置　参照）

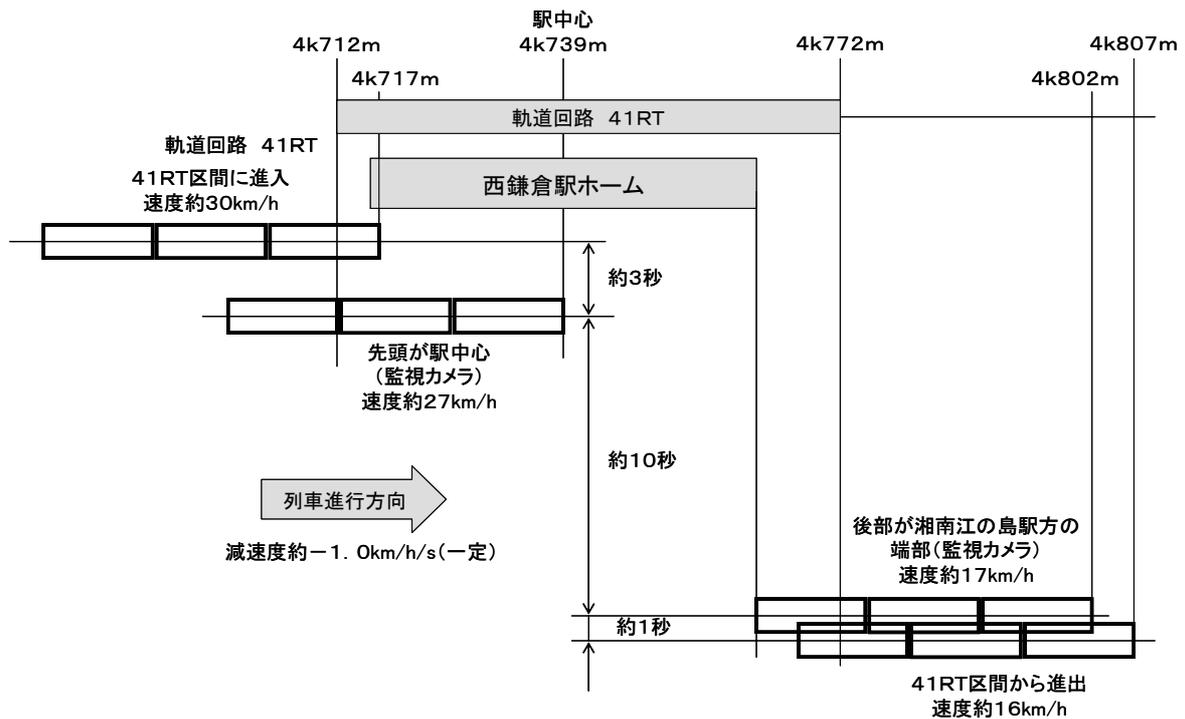



図４　本件列車が西鎌倉駅を通過したときの位置と速度の関係

図４に示したように、本件列車の先頭が駅中心を通過したときの速度が約２７km/h、後部が湘南江の島駅方のホーム端を通過したときの速度が約１７km/h であり、この間の走行距離が約６３ｍであるので、この間の本件列車の減速度をほぼ一定とすると約－１．０km/h/s と算定される。また、本件列車の減速度が約－１．０km/h/s の一定で走行した区間を前後に延長し、軌道回路４１ＲＴ区間の進入及び進出速度を求めると、進入速度が約３０km/h、進出速度が約１６km/h となり、この間の減速が約１４km/h で、在線時間約１４秒となる。

このように、監視カメラ映像の分析結果に基づいて計算した、本件列車の４１ＲＴ区間の在線時間は、2.9.2 表７に記述した、連動装置の記録による本件列車の４１ＲＴ区間の在線時間１４．０秒とも整合する。このことから、本件列車が西鎌倉駅を通過したときの位置と速度の関係は、図４に示したように４ｋ７１７ｍ付近では速度約３０km/h であったものと推定される。

3.7.3　「混触等による力行指令」の場合の本件列車の減速度

異常な力行の原因が「混触等による力行指令」であると仮定した場合、3.6.5.5 に記述したように、本件列車には３ノッチ相当の指令があったものと考えられる。このとき、3.7.2 に記述したように、本件列車が西鎌倉駅を通過したときの速度が２７～１７km/h であることから、付図１２に記述したノッチ曲線より本件列車の２

台のＶＶＶＦインバータは起動時と同値のトルク指令が出ていたものと考えられる。

3.5.1 に記述したように、応荷重制御の認識値を、空車から定員を範囲として考えると、起動時の加速度は 3.6.5.6 に記述したように、４．０～５．２km/h/s の範囲であったと考えられる。

一方、このときの非常ブレーキ力による減速度は、3.6.4.2 に記述したように、ブレーキディスクの温度が最も高い状態であったと考えられるので、おおよそ－３．８～－２．５km/h/s であったものと考えられる。

本件列車が西鎌倉駅を通過したときの減速度は、3.6.1（式２）より以下の式で表すことができる。

［事故時の減速度］＝［駆動力による加速度］＋［ブレーキ力による減速度］＋［走行低抗による減速度］

ここで、3.6.2 表１１に記述したように、速度２７～１７km/h の走行抵抗による減速度を約－０．５km/h/s とすると、異常な力行が「混触等による力行指令」による場合の減速度は、以下のように－０．３～＋２．２（加速）の範囲になると考えられる。

［−0.3～＋2.2(加速)］＝［4.0～5.2］＋［−3.8～−2.5］＋［−0.5］

3.7.2 に記述したように、監視カメラ映像から求めた本件列車の減速度は約－１．０km/h/s であり、上記の計算で得られた範囲とは異なっていた。

3.5.4 に記述したように、車両調査の結果からは本事故時における異常な力行が「混触等による力行指令」により発生した可能性を完全には否定できなかったが、本件列車の西鎌倉駅通過時の加減速度に関する分析結果から、本事故における異常な力行は、「混触等による力行指令」により発生したものではないと考えられる。

なお、2.9.12.1 に記述したように、ブレーキディスクの温度及び材質などの詳細な条件は異なるものの、異常な力行が「混触等による力行指令」による場合を想定して実施した本線走行試験（２）において、３ノッチ力行と非常ブレーキが同時に作用した場合の速度３０km/h～停止までの平均減速度は、＋０．６km/h/s（加速）であり、ここでの計算で得られた範囲内であった。

3.7.4　「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」の場合の本件列車の減速度

異常な力行の原因が「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」で

あると仮定した場合、3.5.1 に記述したように、応荷重制御の認識値を、空車から定員を範囲として考えると、3.6.5.7 に記述したように、駆動力による加速度は２．０～２．６km/h/s であったと考えられる。

一方、このときの非常ブレーキ力による減速度は、3.6.4.2 に記述したように、ブレーキディスクの温度が最も高い状態であったと考えられるので、おおむね－３．８～－２．５km/h/s であったものと考えられる。

本件列車が西鎌倉駅を通過していたときの減速度は、3.6.1（式２）より以下の式で表すことができる。

［事故時の減速度］＝［駆動力による加速度］＋［ブレーキ力による減速度］＋［走行抵抗による減速度］

ここで、3.6.2 表１１に記述したように、速度２７～１７km/h の走行抵抗による減速度を約－０．５km/h/s とすると、異常な力行が「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」による場合の減速度は、以下のように－２．３～－０．４km/h/s の範囲になると考えられる。

［−2.3～−0.4］＝［2.0～2.6］＋［−3.8～−2.5］＋［−0.5］

3.7.2 に記述したように、監視カメラ映像から求めた本件列車の減速度は約－１．０km/h/s であり上記の計算で得られた範囲であるので、本件列車が西鎌倉駅を通過したときの減速度からは、本件列車の異常な力行は「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」による可能性があると考えられる。

なお、2.9.15.1 に記述したように、異常な力行が「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」によるものであることを想定して実施した本線走行試験（３）において、「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」による力行継続と非常ブレーキが同時に作用した場合の速度約１５km/h～停止までの平均減速度は、乗車率５０％（駆動力による加速度約２．３km/h/s)、非常ブレーキ力による減速度が２０％低下（非常ブレーキ力による減速度、約－３．０km/h）という条件の下で－１．２km/h/s であり、ここでの計算で得られた範囲内であった。

3.7.5　異常な力行の原因に関する分析のまとめ

2.3.2.14、2.9.4 及び 2.9.9 に記述した事実調査の情報と 3.7.3 及び 3.7.4 に記述した本件列車の西鎌倉駅通過時の走行に関する分析結果を合わせて、本件列車の異常な力行が①「混触等による力行指令」による場合と、②「５５０４号のＶＶＶ

Ｆインバータのマスコン認識不能」による場合との比較を表１２に示す。

なお、表中の「○」は、列車の走行状態が本事故発生時の状況と整合がとれている項目、「△」は、可能性は低いものの完全には否定できない項目、「×」は整合性がない項目であることを表す。

これらの比較結果から、本事故時に発生した本件列車の異常な力行は、「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」によるものであると推定される。

表１２　異常な力行の原因と車両の挙動に関する比較

	異常な力行の原因	
	混触等による力行指令	5504号のVVVFインバータのマスコン認識不能
マスコンによる力行オフ後にも力行動作するVVVFインバータの台数	2台	1台
マスコンによる力行オフ後の駆動力による加速度 （速度0～約34km/h のとき）	4.0～5.2km/h/s	2.0～2.6km/h/s
西鎌倉駅通過時の減速度 （監視カメラ映像では、約－1.0km/h/s）	× ［計算値］ －0.3～＋2.2（加速）km/h/s ［本線走行試験に基づく検証値］ ＋0.6（加速）km/h/s （こう配抵抗による減速度分を補正） （試験条件:ブレーキ力低下なし）	○ ［計算値］ －2.3～－0.4km/h/s ［本線走行試験に基づく検証値］ －1.2km/h/s （こう配抵抗による減速度分を補正） （試験条件:ブレーキ力低下約20%）
車両調査結果	△ 端子台等の形状から可能性は低いと考えられるが、低圧ツナギ箱やマスコンの内部から切粉等が発見され、混触が発生しても通電痕等が残らない可能性があるため、完全には否定できない。	○ 異常動作の現象が再現された。
VVVFインバータの故障記録（5503号）	△ ＃46分岐器衝突時に5503号のVVVFインバータに力行指令なし （衝突の0.7秒以上前に混触が解消されなければならない。）	○ 5504号のVVVFインバータの異常動作であるが、WDTが保護動作をしないため、5504号のVVVFインバータには故障記録が残らない。
類似故障の発生履歴	なし	2／6に発生した5504号の起動不能が、同一原因による可能性あり 5／19、20の構内試運転で発生

３．８　連動装置の記録に基づくＣ／ＤＦＴ区間の走行シミュレーション

3.7.5 に記述したように、本事故時に発生した本件列車の異常な力行は、「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」によるものであると推定されたことから、このような異常が発生した場合に、3.7.2 で分析した本件列車の西鎌倉駅通過時の走行状態と、2.9.2 表７に記述した本件列車の湘南深沢駅～西鎌倉駅間の軌道回路在線時間に整合性があるかどうかを分析した。

ここでは、特に、湘南深沢駅～西鎌倉駅間の約８０％を占め、かつ、条件によっては連動装置の記録と整合性がある走行が困難となる可能性があるＣ／ＤＦＴ区間の走行シミュレーションの結果について記述する。

3.8.1　軌道回路Ｃ／ＤＦＴ区間進出時の速度に関する分析

本件列車のＣ／ＤＦＴ区間の走行に関する客観的なデータは連動装置の記録のみであるので、シミュレーション条件絞り込みのため、3.7.2 に記述した本件列車の西鎌倉駅通過時の走行条件を利用してＣ／ＤＦＴ区間の進出速度について分析した。

3.7.1 に記述したように、本件列車が西鎌倉駅下り場内信号機付近を走行していたときは、本件列車には非常ブレーキが作用した状態であったものと考えられる。このことから、本件列車が西鎌倉駅下り場内信号機～西鎌倉駅ホーム間の軌道回路である４５Ｔ区間（４ｋ５５４ｍ～４ｋ７１１ｍ）を走行したときの［非常ブレーキ力による減速度］は、厳密にはブレーキディスクの温度上昇の影響で若干低下したものと考えられるが、この間の走行距離は約１５０ｍであるので、ほぼ一定とみなすことができるものと考えられる。このとき、「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」による「駆動力による加速度」は一定であるので、［駆動力による加速度］と［ブレーキ力による減速度］の和は、ほぼ一定であったものと考えられる。

また、2.9.2 表７に記述したように、本件列車が４５Ｔ区間に在線した時間は約１９．１秒であったものと推定される。

これらのこと、及び 3.7.2 に記述したように、本件列車が４ｋ７１７ｍ付近を走行したときの速度が約３０km/h であると推定されることから、４５Ｔ区間のこう配による加減速を考慮すれば、本件列車が４５Ｔ区間を走行したときの地点と速度の関係は、図５に示すとおりであったと考えられる。

なお、図５は、本件列車が４５Ｔ区間を［駆動力による加速度］と［ブレーキ力による減速度］の和がほぼ一定の状態で走行したものとし、４ｋ７１７ｍ地点の速度が約３０km/h、４５Ｔ区間の在線が１９．１秒として、3.6.2（式４）に記述した走行抵抗及び同区間のこう配による加減速度を加味して求めたものである。

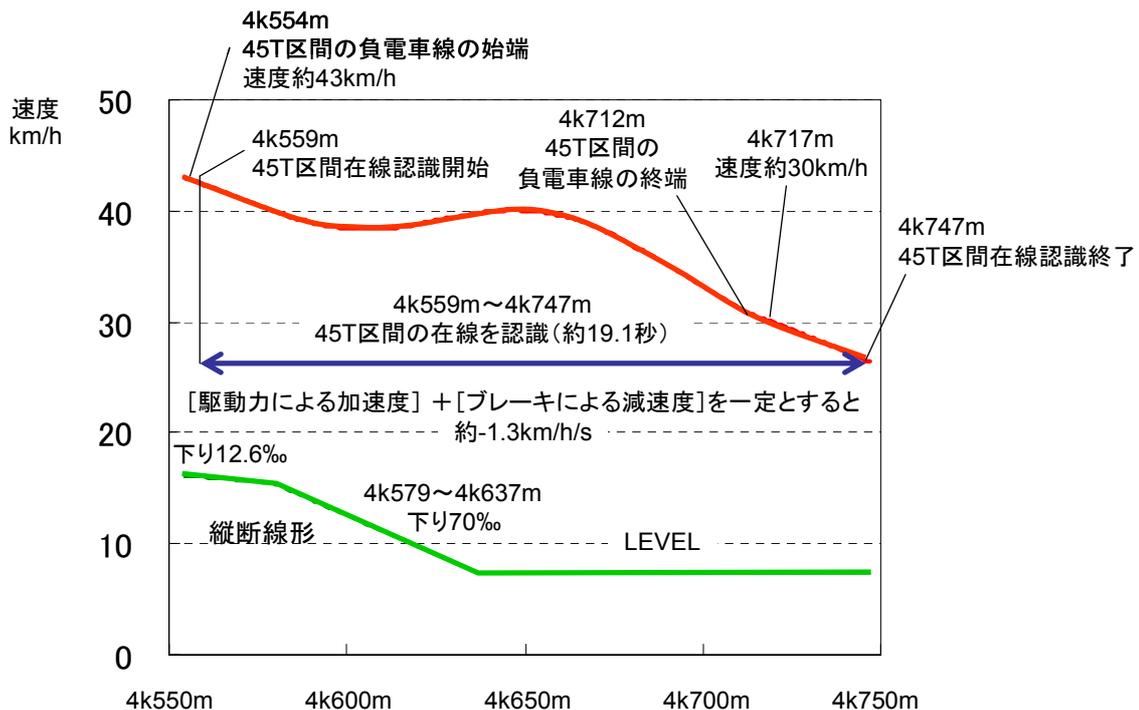



図５　本件列車が４５Ｔ区間を走行したときの速度

図５に示した分析結果によれば、本件列車がＣ／ＤＦＴ区間の進出地点である４ｋ５５４ｍ付近を走行したときの速度は約４３km/h であり、その先の４５Ｔ区間を走行したときの［駆動力による加速度］と［ブレーキ力による減速度］の和は約－１．３km/h/s であったものと考えられる。

3.8.2　軌道回路Ｃ／ＤＦＴ区間の走行シミュレーション

２．１(1)に記述したように、本件運転士は「車庫への＃３３分岐器の先は上り坂になっているが、ブレーキをかけていた。たぶんブレーキ２ステップだったと思う。その先の鎌倉山変電所あたりも、たぶんブレーキをかけながら通過していると思う」と口述している。

付図６に示したように、Ｃ／ＤＦＴ区間は、湘南深沢駅方の２ｋ９６７ｍから３ｋ２８８ｍまでの区間は上り６６‰のこう配になっている。2.9.2 表７及び３．３表１０に記述したように、連動装置の記録から、本件列車はこの区間内に先行する５本の列車より短い９９．７秒在線し、この区間を通過したときの平均速度は約５８．４km/h であったものと推定される。

これらのことから、本件列車が湘南深沢駅出発時以外にマスコンによる力行をせずに、Ｃ／ＤＦＴ区間に約１００秒在線し、かつ、Ｃ／ＤＦＴ区間の終端である４ｋ５５４ｍ地点を速度約４３km/h で走行することが可能であるか分析した。

3.8.2.1　起動時以外にマスコン操作による力行をしない場合

２．１(1)に記述した本件運転士の口述に基づき、湘南深沢駅出発時以外はマスコンによる力行操作は行わず、「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」による力行とブレーキ操作のみで、連動装置等の記録と整合性のある走行が可能であるか本件列車の走行シミュレーションを行った。

シミュレーションの条件は、以下のとおりである。

(1)　運転士のマスコン操作による力行は湘南深沢駅出発時のみとし、その後は「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」による加速度が作用し、運転士の操作としては惰行～ブレーキ操作で速度を調整したものとした。

(2)　Ｃ／ＤＦＴ区間の約１５０ｍ手前にある＃３３分岐器を、同社の運転取扱い実施基準に定められた制限速度である４０km/h で通過したものとした。

(3)　3.5.1 に記述した応荷重信号の分析結果から、５５０４号の応荷重信号の認識値は、空車と定員の２通りについて実施した。

(4)　［ブレーキ力による減速度］は、2.3.2.12 に記述した本件編成の納入時における試運転の結果から走行抵抗による減速度分を補正して、非常ブレーキのとき－３．９km/h/s、常用５ステップのとき－３．５km/h/s とした。

(5)　本件運転士のブレーキの操作は、２．１(1)に記述した本件運転士の口述に基づき、４ステップの開始地点を４ｋ２３１ｍ、５ステップの開始地点を４ｋ３９８ｍ、非常ブレーキの開始地点を４ｋ５２８ｍとした。

(6)　ブレーキ３ステップの開始位置は、本件列車がＣ／ＤＦＴ区間を約１００秒で走行するように定めるものとした。なお、ブレーキ３ステップは、ブレーキ４ステップ開始まで継続して作用させるものとした。

(7)　２．１に記述した、本件運転士及び本件車掌の口述から、本件列車の速度に関しては、西鎌倉駅に進入するまでは速度超過を認めていないことから、本件列車の最高速度は同社江の島線の最高速度である７５km/h は超えないものとした。

(8)　走行抵抗による減速度は、明かり区間については 3.6.2（式４）から計算される値とし、隧道内については 3.6.2 に記述したように、本線走行試験(3)から得られた－０．９km/h/s とした。

以上の条件で実施したシミュレーションの結果を付図３５に示す。

応荷重信号が空車の場合、上り６６‰こう配区間で速度低下が大きく、その後、速度７５km/h で走行したとしても、Ｃ／ＤＦＴ区間を約１００秒で走行することができなかった。

一方、応荷重信号が定員の場合、３ｋ４４６ｍ付近からブレーキ３ステップを使

用したという条件で、Ｃ／ＤＦＴ区間を約１００秒で走行することができた。ただし、この場合４ｋ５５４ｍ付近の速度が約６０km/h となり、3.7.2 に記述した分析結果である約４３km/h とは大きく異なる結果となった。

これらのことから、本件運転士が湘南深沢駅を出発したとき以外にマスコンによる力行を全く行っていない可能性は低いものと考えられる。

（付図３５　Ｃ／ＤＦＴ区間の走行シミュレーション（マスコン力行なし）　参照）

3.8.2.2　上り６６‰こう配区間の一部でマスコン操作による力行をした場合

3.8.2.1 に記述したように、異常な力行が「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」により発生し、かつ、「本件運転士が湘南深沢駅を出発したとき以外にマスコンによる力行を行っていない」場合は、本件列車は連動装置の記録等と整合性のある走行をすることができないことから、２．１(1)に記述した本件運転士の口述とは若干異なるものの、上り６６‰こう配区間の一部で本件運転士がマスコンによる力行操作をした場合、連動装置の記録等と整合性のある走行が可能であるか、本件列車の走行シミュレーションを行った。

シミュレーションの条件は、3.8.2.1 に記述した条件に加え、力行の条件として以下のものを加えた。

(1)　2.3.2.3 に記述したように、同区間を本件編成で走行する場合、通常は力行３ノッチ以上を使用していることから、投入する力行ノッチは３ノッチとした。

(2)　上り６６‰こう配区間を走行中、速度が低下したので、一部区間でマスコンにより３ノッチの力行操作をしたものと仮定した。

(3)　力行ノッチを投入していた区間は、終端を上り６６‰こう配区間の終端である３ｋ２８７ｍとし、始端はＣ／ＤＦＴ区間の在線時間が約１００秒となるように設定した。なお、本シミュレーションでは、力行区間をこう配の終点側としたが、力行区間を起点側に設定すると、より短いマスコン力行操作でＣ／ＤＦＴ区間を約１００秒で走行することが可能になる。

(4)　マスコンにより力行３ノッチを投入すると、５５０４号の「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」による加速度に加えて、５５０３号に正常な３ノッチの力行による加速度が作用することになる。このときの５５０３号の応荷重制御は、3.5.1 に記述したように、本事故前後の測定結果から最も可能性が高いと考えられる定員相当の荷重を認識したものと仮定した。

(5)　Ｃ／ＤＦＴ区間の在線時間が約１００秒となる条件は、マスコンによる力行開始地点と、ブレーキ３ステップ開始地点の組み合わせで複数考えられる

が、3.7.2 に記述した４５Ｔ区間の走行の分析結果と整合性がとれるように、４ｋ５５４ｍ地点の通過速度の目標を約４３km/h とした。

(6)　力行ノッチを投入した区間の終端を３ｋ２８７ｍとしたため、ブレーキ３ステップ開始地点は、３ｋ２８７ｍ地点より西鎌倉駅側とした。

(7)　５５０４号のＶＶＶＦインバータにおける応荷重信号の認識値は、乗車率０％（空車）から１００％（定員）まで、約１７％ごと（[駆動力による加速度] が０．１km/h/s ごと）にシミュレーションを実施した。

以上の条件で実施したシミュレーションのうち、応荷重信号が５０～１００％の場合のシミュレーション結果を付図３６に示す。応荷重信号が６７～１００％の場合、ブレーキ３ステップ開始地点を上り６６‰こう配区間の終端である３ｋ２８７ｍとしても、Ｃ／ＤＦＴ区間を約１００秒在線するという条件では、４ｋ５５４ｍ地点の通過速度を約４３km/h とすることができなかった。

一方、応荷重信号が０～５０％の場合のシミュレーション結果を付図３７に示す。応荷重信号が０～５０％の範囲であれば、本件運転士が上り６６‰こう配区間の一部でマスコンによる３ノッチ力行操作を行った場合、Ｃ／ＤＦＴ区間を約１００秒の在線時間で通過し、かつ、４ｋ５５４ｍ地点を、3.8.1 に記述した分析結果である約４３km/h で走行することが可能であるという結果になった。

以上のような、本件運転士が上り６６‰こう配区間の一部でマスコンによる３ノッチ力行操作を行った場合のシミュレーション結果を表１３に示す。

なお、3.7.2 に記述したように、本件列車が西鎌倉駅ホームの４１ＲＴ区間を通過したときの減速度は約－１．０km/h/s であると推定され、また、3.8.1 に記述したように、本件列車が４５Ｔ区間を通過したときの [駆動力による加速度] と [ブレーキ力による減速度] の和は約－１．３km/h/s であると考えられるので、本件列車がこのような減速度で走行するために必要となる「ブレーキディスクの温度上昇に伴う減速度の低下割合」は、表１３に記述した程度になると考えられる。ただし、ここでは４５Ｔ及び４１ＲＴ区間以外では「ブレーキディスクの温度上昇に伴う減速度の低下」はないものとする。

なお、3.7.2 及び 3.8.1 の結果から、少なくとも４５Ｔ区間と４１ＲＴ区間の「ブレーキ力による減速度」は異なっているものと推定される。このことから、Ｃ／ＤＦＴ区間では、４５Ｔ区間よりも更に「ブレーキディスクの温度上昇に伴う減速度の低下」は小さいものと推定される。

表１３　Ｃ／ＤＦＴ区間の走行シミュレーションのまとめ

5504号の力行応荷重制御が認識した乗車率	5504号の駆動力による加速度(km/h/s)	マスコンによる3ノッチ力行開始地点（5503号の力行が作用）	ブレーキ3ステップ開始地点	4k554m地点通過時の速度(km/h)	45T区間走行時のブレーキ力低下割合	41RT区間走行時のブレーキ力低下割合
０％	２．０	３ｋ０９３ｍ	３ｋ６２７ｍ	４３	１５％	３６％
１７％	２．１	３ｋ１０８ｍ	３ｋ５６５ｍ	４３	１３％	３３％
３３％	２．２	３ｋ０７４ｍ	３ｋ４６２ｍ	４３	１０％	３０％
５０％	２．３	３ｋ００７ｍ	３ｋ３０９ｍ	４３	８％	２８％
６７％	２．４	３ｋ０４０ｍ	３ｋ２８７ｍ	４８	５％	２６％
８３％	２．５	３ｋ０８８ｍ	３ｋ２８７ｍ	５３	３％	２３％
１００％	２．６	３ｋ１４０ｍ	３ｋ２８７ｍ	５７	０％	２１％

※　網掛けは、調査結果から可能性があると考えられる範囲を外れているもの

上記の表より、本件運転士がＣ／ＤＦＴ区間の上り６６‰こう配区間の一部でマスコンによる力行操作を行ったとすれば、２．１(1)に記述した本件運転士の口述とは「出発時以外はマスコン操作による力行を行っていない」という部分については異なるものの、本件列車の走行状況について、西鎌倉駅監視カメラの映像や連動装置の記録と整合性があり、本件運転士及び本件車掌の口述の概略に沿った走行が可能となる現実的な条件を設定できることから、本事故時に発生した運転士のマスコン操作によらない異常な力行は､｢５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」により発生したものと推定される。

なお、表１３中の「応荷重制御が認識した乗車率」が０％及び１７％の場合は、本件列車が４１ＲＴ区間を走行したときのブレーキ力低下割合が、2.9.10 に記述したブレーキディスク試験で得られた範囲を超えることから、本事故発生時、本件列車の実際の乗車率はほぼ０％に近かったものの、５５０４号の応荷重制御は３３～５０％程度の乗車率を認識していた可能性が考えられる。

（付図３６　Ｃ／ＤＦＴ区間の走行シミュレーション（応荷重５０～１００％)、
付図３７　Ｃ／ＤＦＴ区間の走行シミュレーション（応荷重０～５０％）　参照）

３．９　ＶＶＶＦインバータの誤動作に関する分析

3.7.5 に記述したように、本事故の原因となった本件列車の異常な力行は、「５５０４号のＶＶＶＦインバータのマスコン認識不能」によるものと推定される。このようなＶＶＶＦインバータの異常な動作は、以下のような要因が重なったことにより発生したものと考えられる。

3.9.1 車体接地線の配線方法

2.3.2.5に記述したように、本件編成の１００線は、車両内は１４㎟の電線１本、車両間は２．０㎟の電線６本で引き通され、１両あたり２箇所で車体に接続されているが、各機器の低圧車体接地線（１００ｘ線）は断面積が１．２５㎟と小さいために抵抗が大きい電線１本で引き通され、かつ、５５０３号又は５５０４号どちらか一方の運転台背面配電盤まで車体に接続されていない。このような低圧車体接地線の配線は、車体接続箇所から離れた機器からノイズが発生した場合には、ノイズが車体側に流れにくく他の近くにある機器側に回り込みやすい状況をつくりだしている。また、2.9.14.4(3)に記述したように、５５０４号の１００ａ線を５５０４号内で車体に接続すると５５０４号のＶＶＶＦインバータの異常な動作は発生しなくなったことからも、機器の低圧接地引き通し線に小断面の電線を使用し、編成中の１箇所だけで車体に接続するという配線方法が、ＶＶＶＦインバータ内での不正なデータ受信に関与したものと考えられる。

このような状況になることを防止するためには、車両及び機器の基準電位を安定させることが重要であることから、各低圧機器のマイナス極と車体間の接地線には断面積の大きな電線を使うことや車体との接続位置を近づけるなど、抵抗を小さくすることが望ましい。

（付図１０　低圧車体接地線系統図（抜粋）　参照）

3.9.2 未使用のモニタ伝送回路の処理の影響

2.9.14.3に記述したように、異常発生時において、本件編成には搭載されていない運転台モニタからの伝送受信割り込みが発生していること、及び加減速シーケンス処理をするＣＰＵが運転台モニタからの伝送開始データに続きエラーデータを認識していることが確認された。また、2.9.14.2に記述したように、５５０４号のＶＶＶＦインバータ内のＢＵＦカードと分圧抵抗盤を結ぶ４８芯シールドケーブルを、ＢＵＦカード側で外すと異常は再現せず、分圧抵抗盤側で外し、外したコネクタの１００ＣＡ線を分圧抵抗盤と接続すると異常が再現した。

伝送回路は電力系の回路と異なり微少な電流で動作し、特に、電送線の端部が開放されているとノイズの影響を受けやすいため、伝送線の終端に機器が接続されていない場合は、抵抗などで短絡する等の終端処理をすることが一般的である。

しかし、2.3.2.11に記述したように、本件編成に実装されているモニタ伝送回路は、基板間を結ぶケーブル内ではツイスト処理等がされずにマスコン指令などの入出力回路と一緒に艤装されており、終端となっていたＶＶＶＦインバータ内の分圧抵抗盤では終端処理がされていなかった。さらに、加減速シーケンス制御のプログラムは、搭載されていない運転台モニタの伝送回路からの割り込みを有効な割り込

みとして処理するプログラムになっていた。
以上のことから、搭載されていない運転台モニタの伝送回路のノイズ対策が十分でなかったことが、ＶＶＶＦインバータの動作に不具合を発生させたことに関与したものと考えられる。
本件編成のように装置に未使用の伝送回路があり、それが運転保安上重要な機器に影響を与える可能性があるものに対しては、マスコン指令などの入出力線と同一のケーブル内に艤装しない、ツイスト処理をする、終端処理をするなど、ハードウェア側での対策や、未使用回路の信号をプログラム上で無効とするなどのソフトウェア側での対策をしておく必要がある。

3.9.3　ＷＤＴによる保護動作

3.5.5.2(4)に記述したように、本件編成が不正に力行を継続したときには、５５０４号のＶＶＶＦインバータの加減速シーケンスが処理されなくなったため、運転士の操作に関係なく力行が継続される状態になった。このような場合には、本来であれば2.3.2.4 に記述したＷＤＴの機能により主回路をいったんオフにしてからＶＶＶＦインバータを再起動させるという保護動作が働くべきであるが、このような処理は行われなかった。
これは、2.3.2.4 に記述したように、ＶＶＶＦインバータ制御プログラムにおいて、加減速シーケンス処理に一定時間以上要するような異常が発生したときにはＷＤＴの保護動作が働くようになっていたが、加減速シーケンス処理が実行されなくなったときにはＷＤＴ保護動作が働くようには設計されていなかったことによるものと認められる。
本件編成のように列車の走行のシーケンス制御をソフトウェアで行う車両の場合、ＷＤＴは機器の故障発生時における安全確保に重要な役割を果たしていることから、本件電機メーカーは、ＷＤＴ及びその関連プログラムのように車両を制御する上でフェールセーフ機能を持つべき重要な箇所の設計に際しては、その機能が発揮されないような条件の抜けがないように慎重に検討すべきである。

3.9.4　車両におけるノイズの影響を総合的に検討する視点の欠如

鉄道における電磁両立性（Electromagnetic Compatibility：以下「ＥＭＣ」という）の問題に関しては、これまでも鉄道から外界へのノイズ放射や車両が信号設備に与える妨害等については検討が進められてきたが､最近の鉄道車両では､インバータ等の電磁ノイズが発生しやすいパワーエレクトロニクス機器と、伝送回路等の電磁ノイズの影響を受けやすい電子機器の採用がともに増加する現状を鑑みると、車両内のＥＭＣについても確保される必要がある。

その一方で、パワーエレクトロニクス機器や電子機器が使用されている最近の車両の配線等は、このような機器が多用される前の設計思想の延長にあり、ＥＭＣの検討は必ずしも十分であるとはいえない。車両におけるＥＭＣの問題に関しては、車両と機器を組み合わせてノイズの影響などを総合的に検討する視点が必要であるが、鉄道車両では一般的には引き通し線の艤装等の車両の設計・製造とパワーエレクトロニクス機器や電子機器等の設計・製造は、異なるメーカーや部門で担当していることが多いため、車両と電気機器を総合的にとらえてＥＭＣについて検討することが行われにくい状況であると考えられる。このことが、本件列車のＶＶＶＦインバータの電磁ノイズによる誤動作を未然に防ぐことができなかったことの背景にあった可能性があると考えられる。

３．１０　本件運転士の健康状態等に関する分析

2.5.3 に記述したように、本件運転士は本事故発生日には風邪をひいていたがほぼ回復しており運転には影響がないと口述している。また、当日の点呼を担当した助役も本件運転士の健康状態に異常はないと判断していることから、当日の運転士の健康状態は本事故には関与していないものと考えられる。

３．１１　運転士の取扱いに関する分析

２．１(1)に記述したように、本件運転士は本件列車の異常を認めた後も運行を継続した。モノレールは大半が高架軌道を走行するため、駅間停車を避けたいという事情はあるものの、本事故のようなブレーキ力の低下につながる車両トラブルは、旅客の死傷事故に直結する可能性があることから、運転士は異常を認めた場合は速やかに列車を停止させ、その後で列車を移動させる場合は安全を担保した状態で行うべきである。

３．１２　同社の教育訓練に関する分析

2.6.1 に記述したように、電車運転士作業基準のＮｏ．６７には、「運転中、車両および線路に異常を認めたときの取扱い」として、速やかに停止し、列車無線で指令に連絡し、以後の運転方について指示を受けることが定められている。また、2.6.2 に記述した、過去に発生した車両トラブルとその後の対応の実績から、このことは基本的には運転士には周知されているものと考えられる。

本事故においても、本件運転士は本件列車が湘南深沢駅を出発した直後に異常を認めた時点で、たとえ駅間であっても本件列車を速やかに停止させ、発生事象を指令に連絡すべきであった。

３．１３　サバイバルファクターに関する分析

2.9.3 に記述したように、本件列車の最後部が西鎌倉駅ホームの湘南江の島駅方の端部を通過したときの速度が約１７km/h と考えられることから、本件列車が西鎌倉駅の湘南江の島駅方の＃４６分岐器に衝突した速度は２０km/h を下回っているものと考えられる。

２．１に記述した、本件運転士及び本件車掌の口述から、衝突時には相当の衝撃があったものと考えられるが、乗客に負傷者がなかったことについては、乗客が全員着席していたこと、及び本件車掌が衝突直前に乗客に対し、衝突に備え手すり等につかまるように注意喚起したことによるものと考えられる。

３．１４　乗客の救出に関する分析

２．８に記述したように､本事故により対向列車が西鎌倉駅ホーム手前の高架軌道上で停止し、その後の架線停電により移動することができなくなったが、同列車の乗客は、本事故発生から約１時間後の１０時５２分ごろに、車両の脱出袋及び消防のはしご車により全員が救出された。

対向運転士及び対向車掌は､ともに脱出袋を実際に使用するのは初めてであったが､乗客の救出が比較的スムーズに行われたことについては、２．１０に記述したように、同社が年２回の頻度で、現車を使用した訓練を実施していたこと、及び警察、消防の迅速な対応があったことによるものと推定される。

４　結　論

４．１　分析の要約

本事故に至る本件列車の挙動についての分析結果をまとめると、以下のとおりである。

(1)　連動装置の記録から、本件列車が湘南深沢駅を出発した直後に、本件列車には本件運転士のマスコン操作によらない異常な力行動作が発生したものと推定される。

(2)　「異常な力行動作」の原因については、車両調査の結果からは、混触等による異常な力行指令による可能性と５５０４号のＶＶＶＦインバータがノイズの影響により本件運転士のマスコン操作を認識しなくなった可能性が考えられたが、西鎌倉駅の防犯カメラの映像及び連動装置の記録等の分析結果から、混触等による異常な力行指令によるものではなく、５５０４号のＶＶＶＦインバータがノイズの影響により本件運転士のマスコン操作を認識しなくなったことによるもので

あったと推定される。

(3)　５５０４号のＶＶＶＦインバータが、ノイズの影響により本件運転士のマスコン操作を認識しなくなったメカニズムについては、車両調査の結果から以下のようであったものと考えられる。

①　ＶＶＶＦインバータ内のゲート電源装置の高周波ノイズが、同装置の電源マイナス極側である低圧車体接地線に重畳した。

②　低圧車体接地線に使われている電線の断面積が小さく、かつ、５５０４号では、ゲート電源装置から５５０３号に設けられている車体接地箇所までの距離が長いため、ゲート電源装置から発生したノイズが車体接地箇所側に流れにくい状態であった。

③　ドア開閉やブレーキ操作により車両内の電気機器の負荷が変動し、５５０４号の低圧車体接地線の対車体電位が上昇したことにより、ＶＶＶＦインバータの低圧車体接地線に重畳したノイズが、ＶＶＶＦインバータ内部側により多く回り込むようになった。

④　ＶＶＶＦインバータ内部にある４８芯シールドケーブル内の電磁誘導で、低圧車体接地線に回り込んだ高周波ノイズが、ノイズ対策が不十分な未使用のモニタ伝送回路に重畳した。

⑤　モニタ伝送回路のＩＣが重畳したノイズを受信データと認識し、加減速シーケンスを処理するＣＰＵがこの受信データを「伝送開始」に続き「エラー」と認識したことにより不正割り込みが発生した。

⑥　この不正割り込みにより他のすべての割り込みが禁止された結果、加減速シーケンスを処理するＣＰＵが加減速シーケンスを処理しなくなった。

⑦　加減速シーケンスが処理されなくなったため、運転台からのマスコン指令がＶＶＶＦインバータの動作に反映されなくなった。

⑧　加減速を制御するプログラムに不備があったため、不正割り込みにより加減速シーケンスが処理されないという異常が発生したときには、主回路の電流をいったん遮断してからＶＶＶＦインバータを再起動させるというウォッチドッグタイマによる保護動作が働かない状態になっていた。

⑨　運転台のマスコン指令が認識されず、かつ、保護動作が働かなかったため、５５０４号のＶＶＶＦインバータは本件運転士の操作にかかわらず、不正割り込みが発生する直前の状態（本事故の場合は力行）を維持した。

４．２　原因

本事故は、本件編成中に２台あるＶＶＶＦインバータのうちの１台が、誤動作により力行継続状態となり、ブレーキを使用しても必要な減速度が得られず、また、本件

運転士が本件列車の異常に気付きながら運転を継続したため、本件列車は減速が不十分な状態で西鎌倉駅に進入し、停止信号を現示していた下り出発信号機を行き過ぎ、進路の開通していない＃４６分岐器に衝突し、対向列車の進路を支障するとともに、分岐器等の施設に物損が生じたものと考えられる。

１台のＶＶＶＦインバータが誤動作したことについては、本件編成中の特定の車両のＶＶＶＦインバータが、低圧車体接地線等のノイズ対策が不十分であったことから低圧回路のマイナス極側に重畳したノイズの影響を受けやすい状態となっていたこと、未使用のモニタ伝送回路に対して適切なノイズ対策がなされていなかったこと、及び加減速を制御するプログラムに不備があったため、ウォッチドッグタイマによる保護動作が働かなかったことが重なったことによるものと考えられる。

５　意　見

運輸安全委員会は、本事故調査の結果に鑑み、国土交通大臣に対して、運輸安全委員会設置法第２８条の規定に基づき、下記のとおり意見を述べる。

本事故は、ＶＶＶＦインバータがノイズの影響で運転士のマスコン操作を認識しなくなったことにより異常な力行動作が発生し、ブレーキによる減速が不十分になったために発生したものと推定される。したがって、国土交通大臣は次の事項について所要の措置を講じるべきである。

(1)　ＶＶＶＦインバータ搭載車等、加減速制御にソフトウェアを使用する鉄道車両においては、ソフトウェアの処理異常によって、車両が運転士のマスコン操作に反して力行を継続した場合、車両に異音や異臭などの兆候がみられないため、運転士が異常に気付くのが遅れる可能性が考えられる。したがって、本事故事例を運転士に周知し、列車の異常な力行やブレーキ力低下を認めた場合は直ちに列車を停止させることを再徹底すべきである。

なお、列車を直ちに停止させる方法については、運転士が緊急時に行えるものであるとともに、ソフトウェアの処理異常により不正な力行が発生した場合においてもブレーキ力を確保するために、ソフトウェアの処理異常が発生した場合に確実に主回路を遮断できる方法を周知すべきである。

(2)　鉄道事業者、車両メーカー及び鉄道用の電気機器メーカーは、鉄道車両のノイズによる誤動作の問題に対して、ＶＶＶＦインバータ等パワーエレクトロニクス機器や電子機器等に関する誤動作等の情報を互いに共有し、故障防止のノウハウ

の蓄積をすべきである。また、パワーエレクトロニクス機器や電子機器等を使用した車両の接地及び配線艤装のあり方等、車両内の電磁両立性（ＥＭＣ）の問題に関する総合的な検討を実施すべきである。

(3)　列車の加減速を制御する装置、ブレーキ制御装置、保安装置等の運転保安上重要な装置において、その制御をソフトウェアにより行う場合、処理に異常があったときに、ウォッチドッグタイマ等の安全確保に重要な役割を果たす機能が確実に発揮されるよう、設計時に十分な配慮を行うべきである。

(4)　ＶＶＶＦインバータ搭載車等、加減速シーケンスがソフトウェアによって処理される車両においては、ソフトウェアの処理異常や電子部品の一時的な不具合による故障が発生した場合、リセット扱い等により不具合の痕跡を残さずに容易に復帰することが多いことから、現象が再現しない場合、故障原因の究明が困難になる可能性があると考えられる。

　このような故障に対する原因究明のレベルを向上させるため、加減速シーケンスがソフトウェアによって処理される車両においては、運転士の操作と対応する車両の挙動を別個の機器で記録する機能を持たせることを検討すべきである。

６　参考事項

６．１　運転取扱いに係る再発防止対策

同社は、本事故発生後、主に以下の再発防止対策を講じた。

(1)　平成２０年６月に、非常ブレーキを作動させても減速感がない場合には「レバースハンドル[19]『切』」とすることを指導し、同７月に電車運転士作業基準を改訂し、同内容を「非常の場合の処置」に加えた。

６．２　車両に係る再発防止対策

本件電機メーカー及び同社は、本事故発生後、５０００系１次車に対して、以下の対策を講じた。

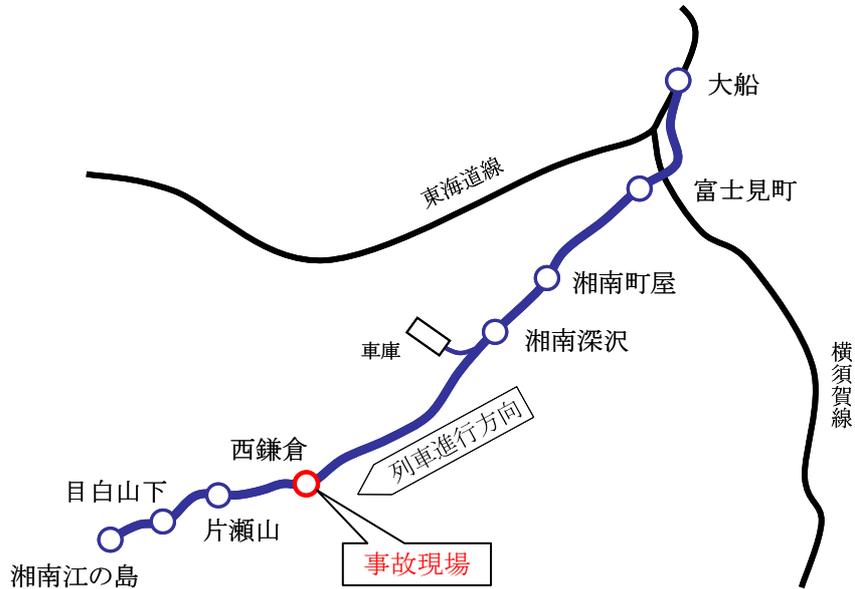
(1)　ＶＶＶＦインバータの加減速制御プログラムに、非常ブレーキが投入された場合に主回路をしゃ断する処理を追加した。

(2)　ＶＶＶＦインバータの加減速制御プログラムのＷＤＴリセット処理のタイミングを、加減速シーケンス処理の直後に変更し、加減速シーケンスが停止した

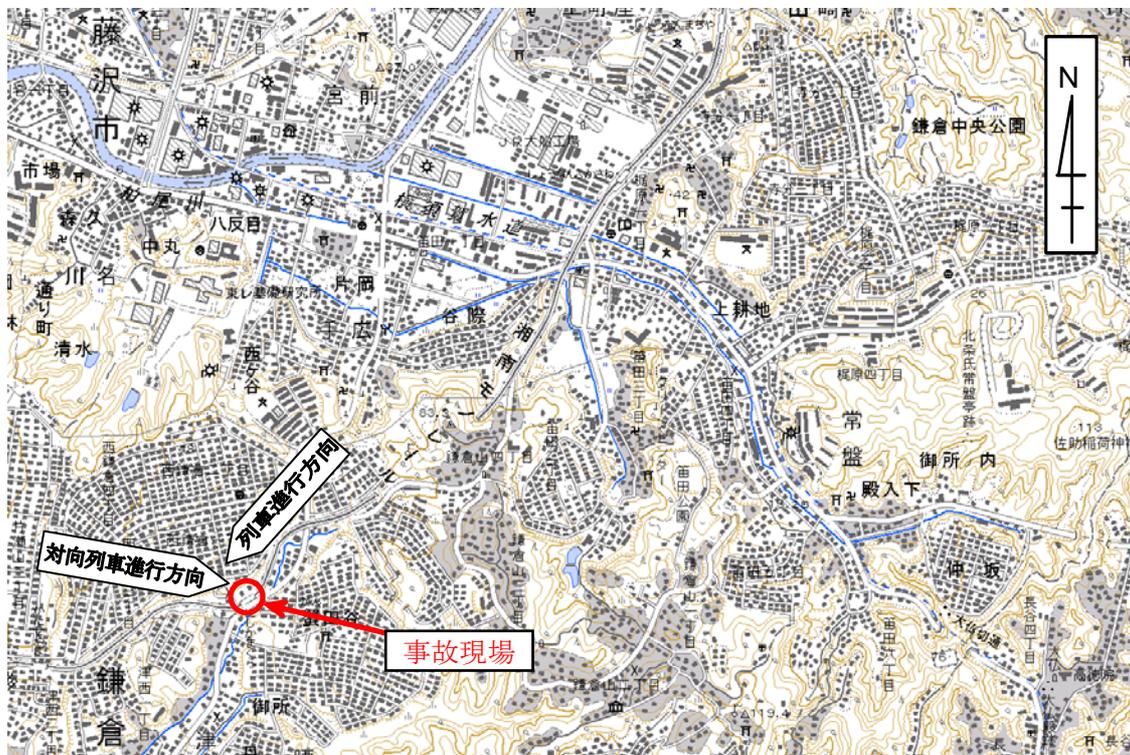
19　「レバースハンドル（Reverse Handle）」とは、列車の進行方向を逆転させるために運転台に設けられた切換スイッチのことをいう。

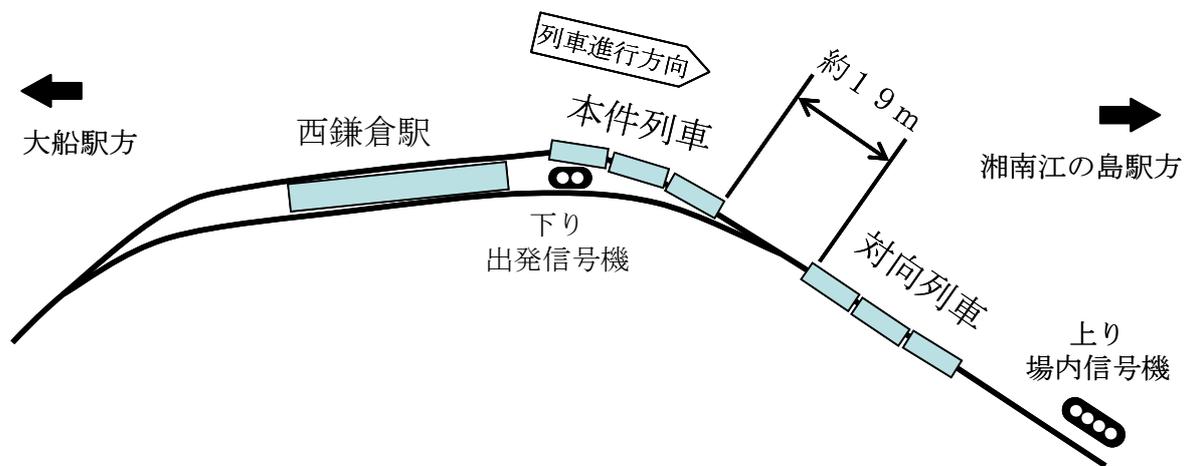
場合はＷＤＴにより主回路の停止とＶＶＶＦインバータの再起動が確実に行われるようにした。

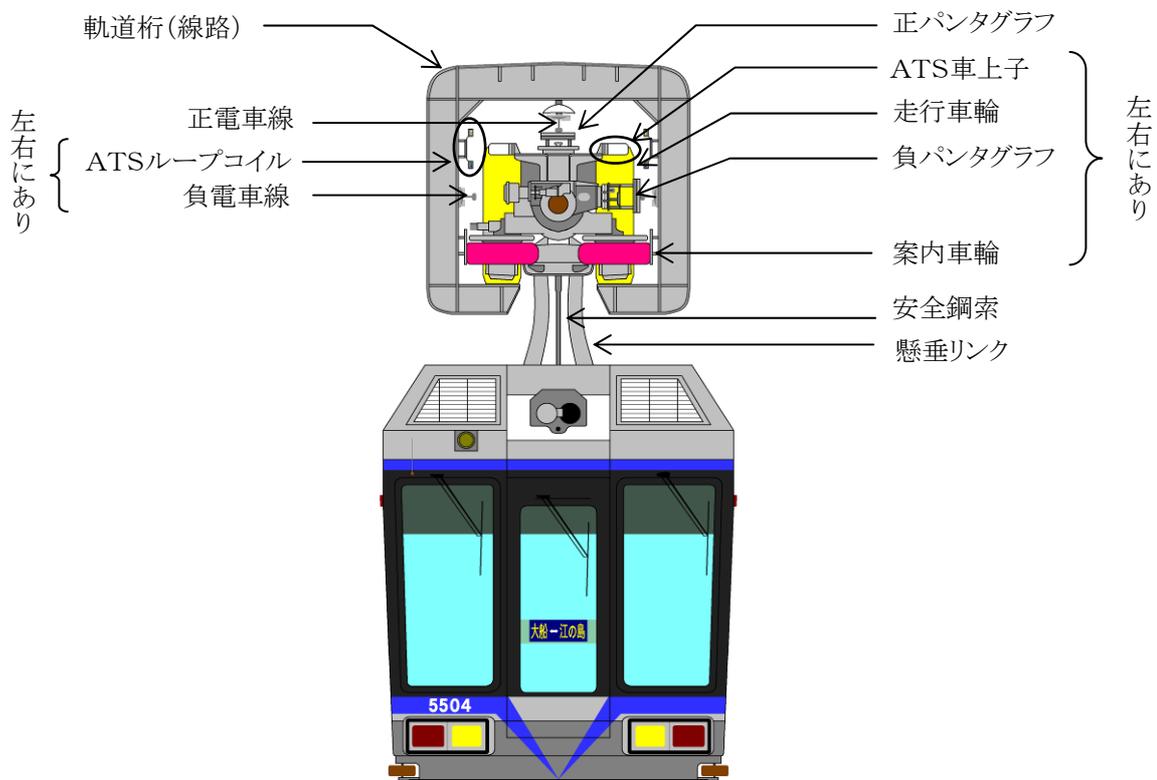
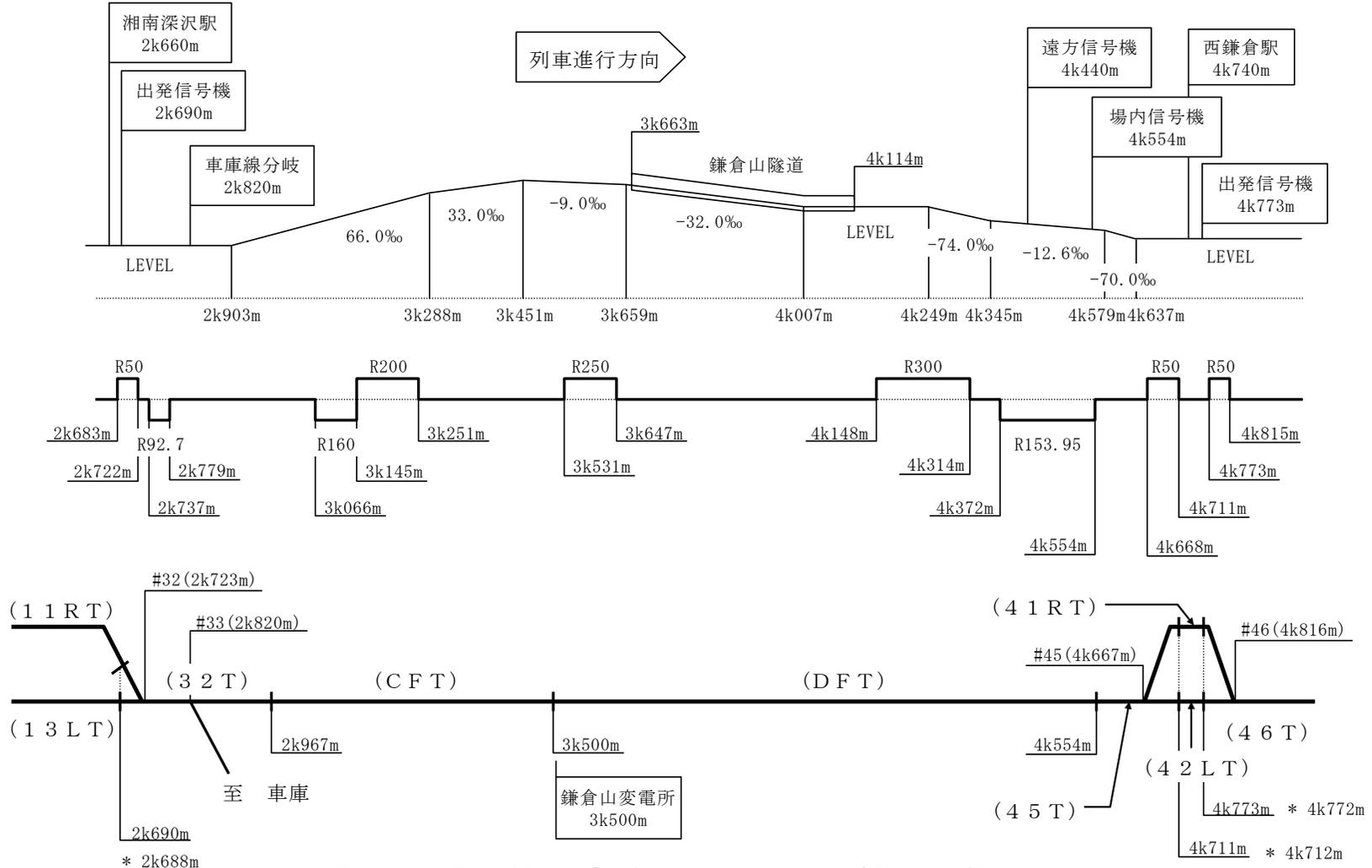
付図１　江の島線路線図

大船駅～湘南江の島駅間　６．６ｋｍ　（単線）

付図２　事故現場付近の地形図

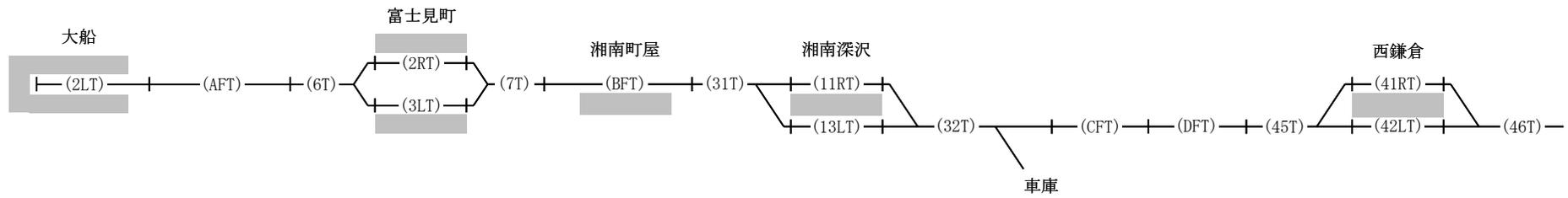
1:25,000　鎌倉［横須賀］

500m　0　500　1000　1500

国土地理院　２万５千分の１　地形図使用

付図３　事故現場略図

付図４　事故発生後の状況

付図５　懸垂式モノレールの軌道及び台車の構造

付図６　湘南深沢駅～西鎌倉駅間の線路縦断面、曲線半径及び軌道回路

ＣＦＴ区間とＤＦＴ区間は、連動上は「Ｃ／ＤＦＴ」という単一の軌道回路として扱われている。

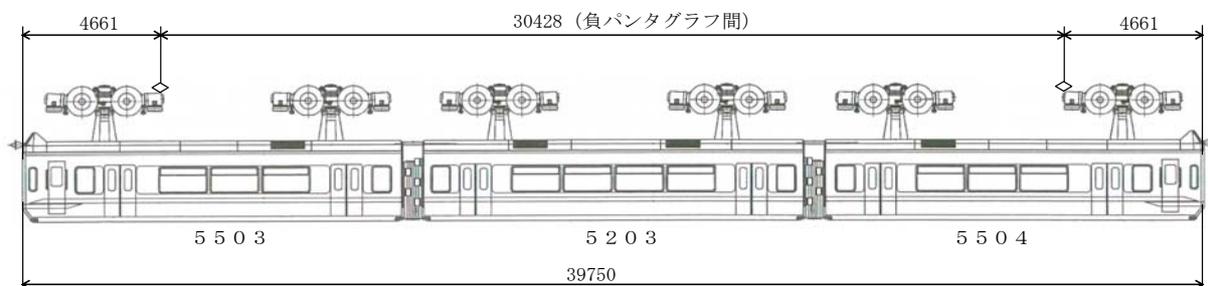
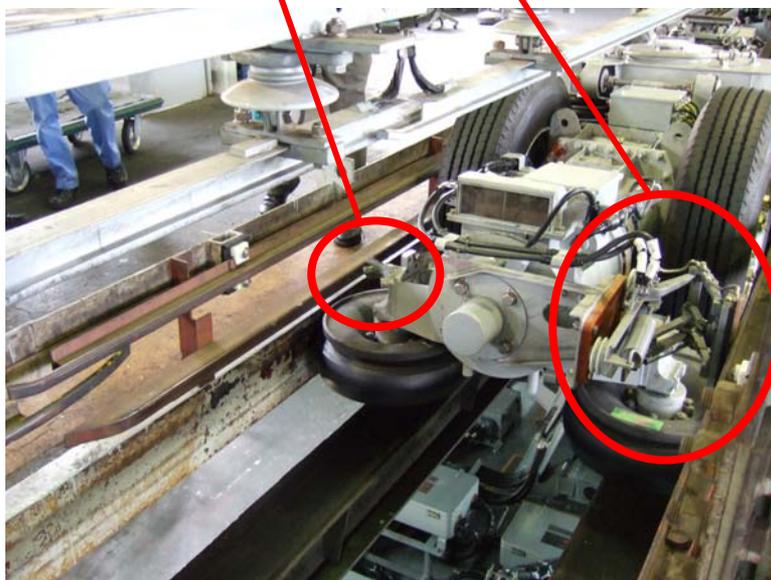
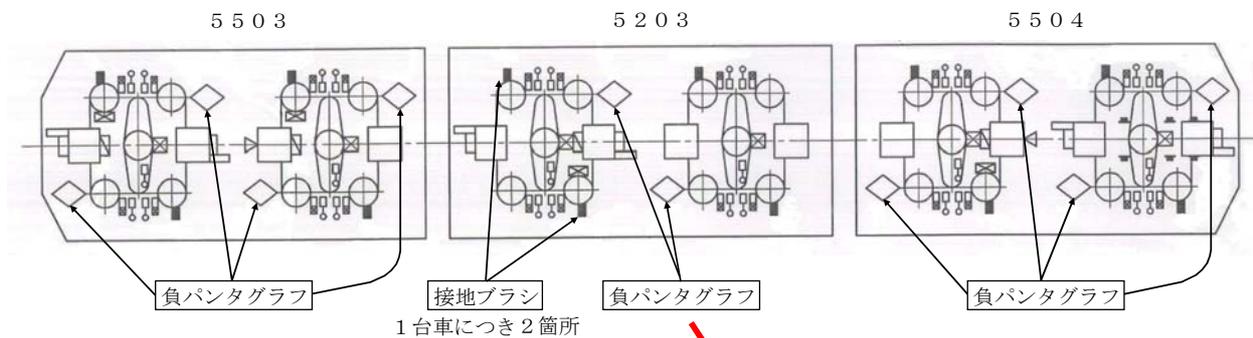
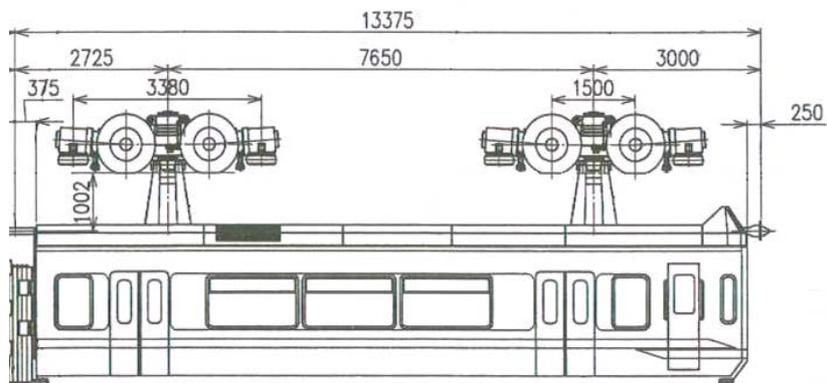
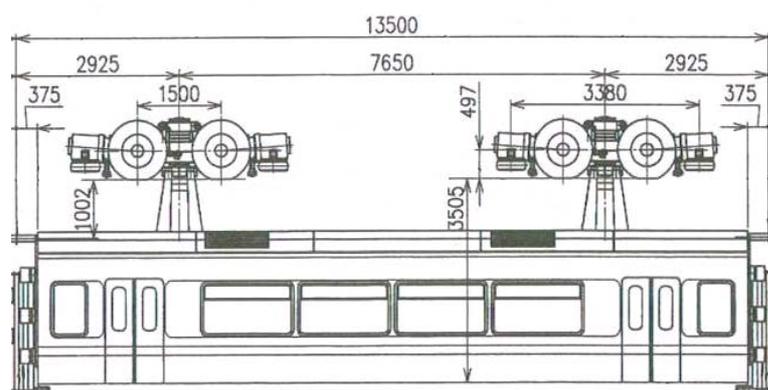
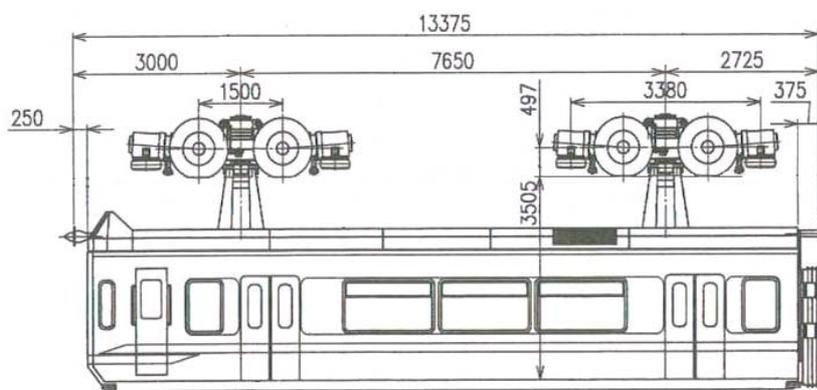
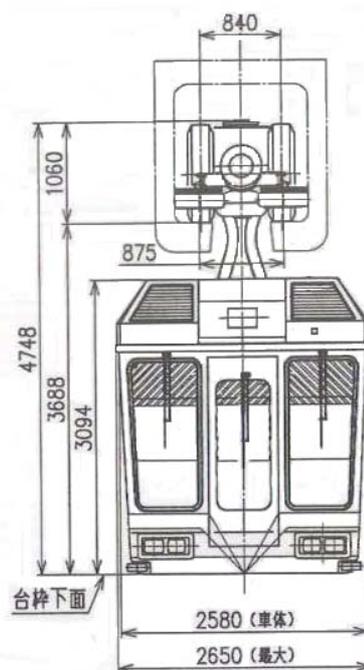
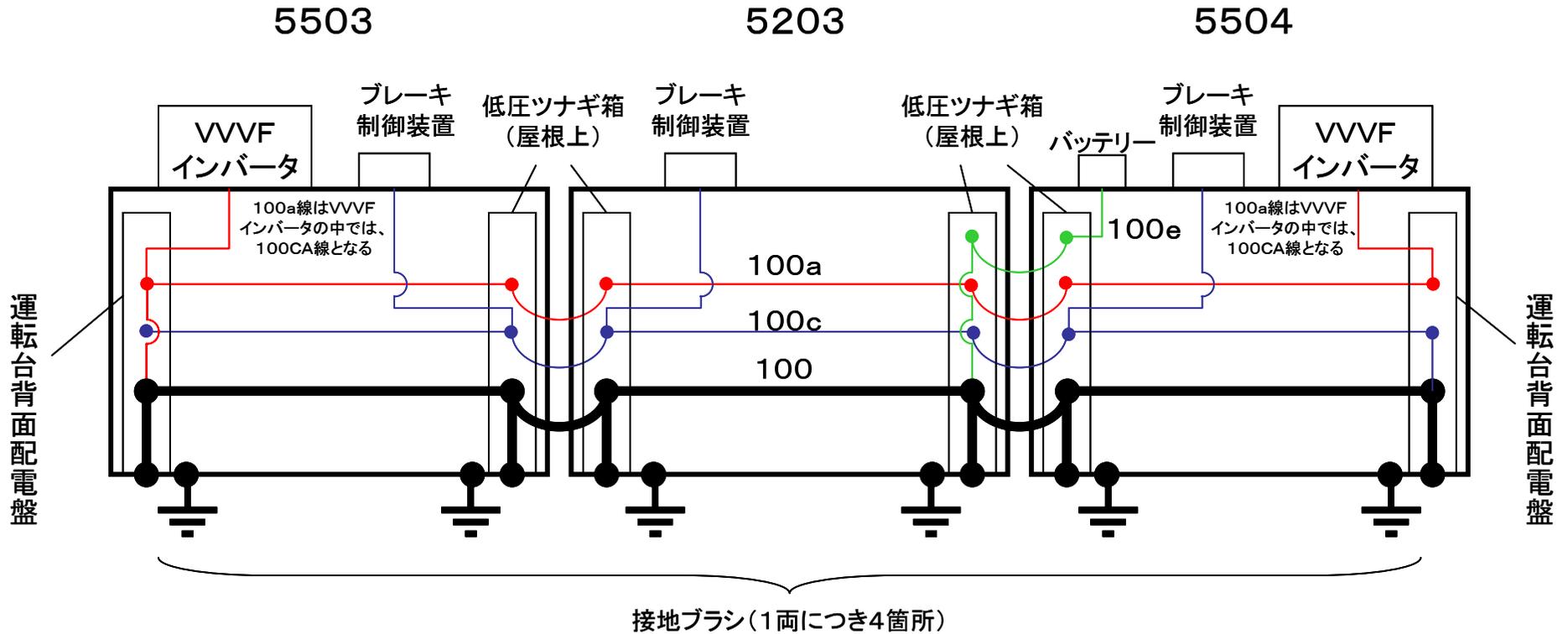
＊:負電車線の絶縁位置が名義上の軌道回路境界と異なっている箇所のキロ程

付図７　大船駅～西鎌倉駅間の軌道回路

※　駅間の軌道回路名称は、大船駅方よりＡＦＴ、ＢＦＴ、ＣＦＴ、ＤＦＴ・・・となっている。

付図８　負パンタグラフ及び接地ブラシの配置

５５０３　　５２０３　　５５０４

負パンタグラフ　　接地ブラシ　　負パンタグラフ　　負パンタグラフ

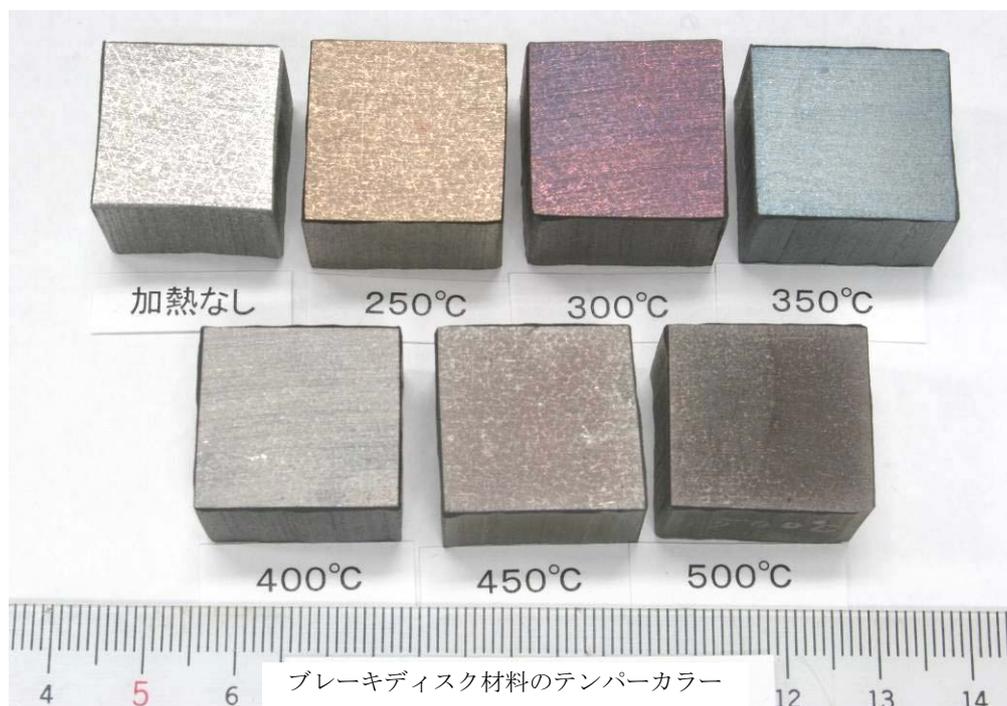
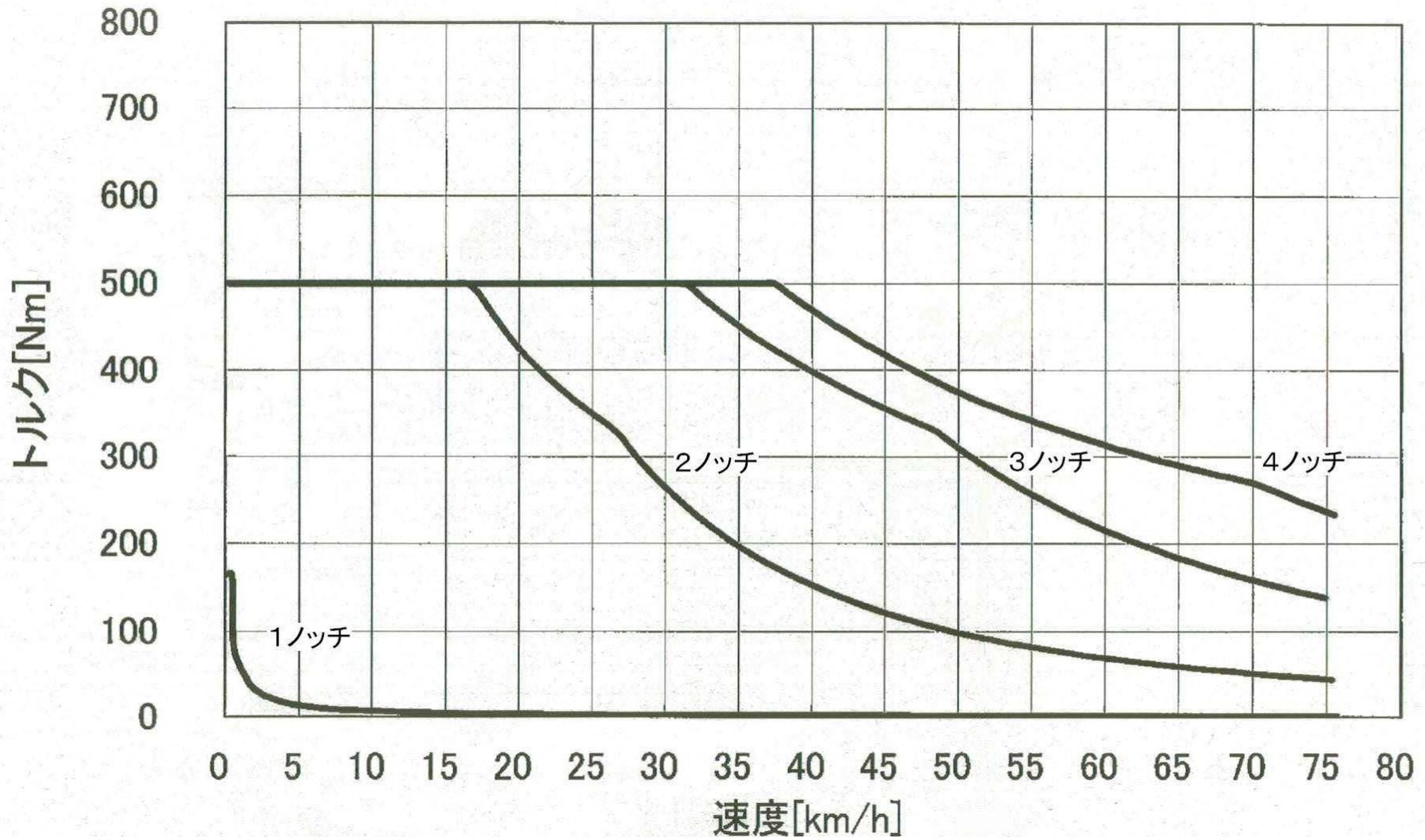
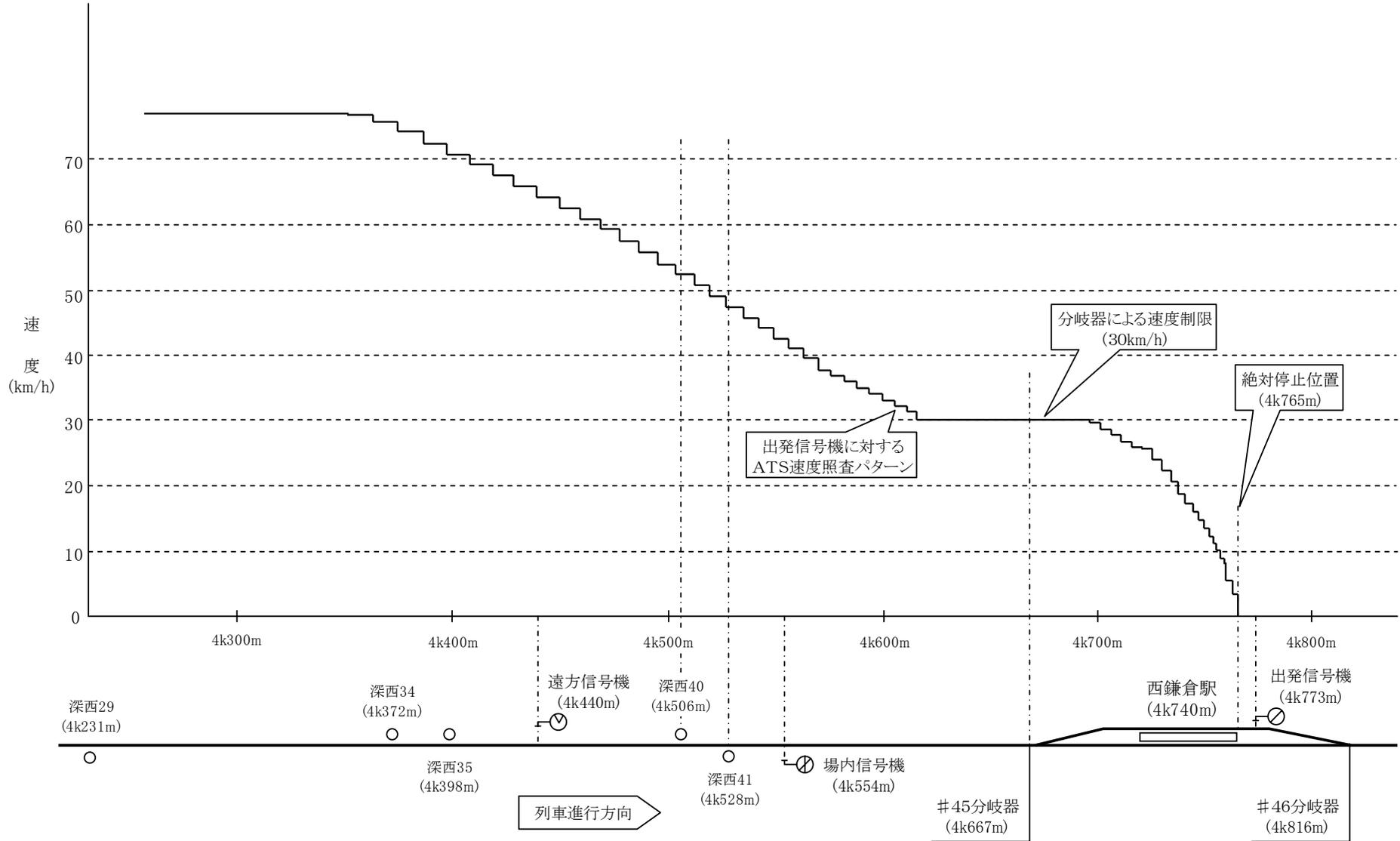
１台車につき２箇所

付図９　５０００系車両形式図

５５０４

５２０３

５５０３

付図１０　低圧車体接地線系統図（抜粋）

※1　引き通し線の電線の太さは、100線は14mm²、他の線は1.25 mm²である。

2　100線は、車両間はジャンパ線の2mm²の電線6本で接続されている。

2　100線は、1両に2箇所、低圧ツナギ箱又は運転台背面配電盤の中で車体に接続されている。

3　各車の車体は、駅停車時に各車に4箇所ある接地ブラシで接地される。

付図１１　ブレーキディスク材料のテンパーカラー

ブレーキディスク材料のテンパーカラー

付図１２　５０００系ノッチ曲線（定員　架線電圧１,５５０Ｖ）

付図１３　湘南深沢駅～西鎌倉駅間の本件列車に対するＡＴＳ速度照査パターン

付図１４　正電車線及び台車の短絡痕

正電車線

台　車

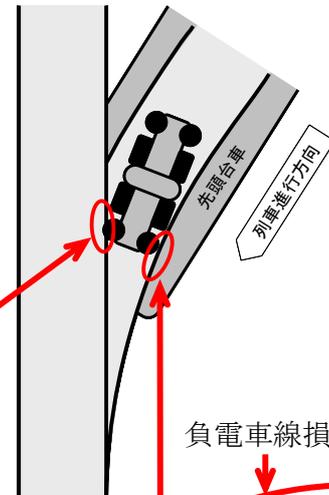
付図１５　分岐器軌道及び負電車線の損傷状況

正電車線

負パンタグラフ

車両移動前に撮影

先頭台車

列車進行方向

負電車線損傷

負電車線損傷

車両移動後に撮影

車両移動中に撮影

付図１６　本件編成の損傷状況

付図１７　事故後のブレーキディスク及びパッド

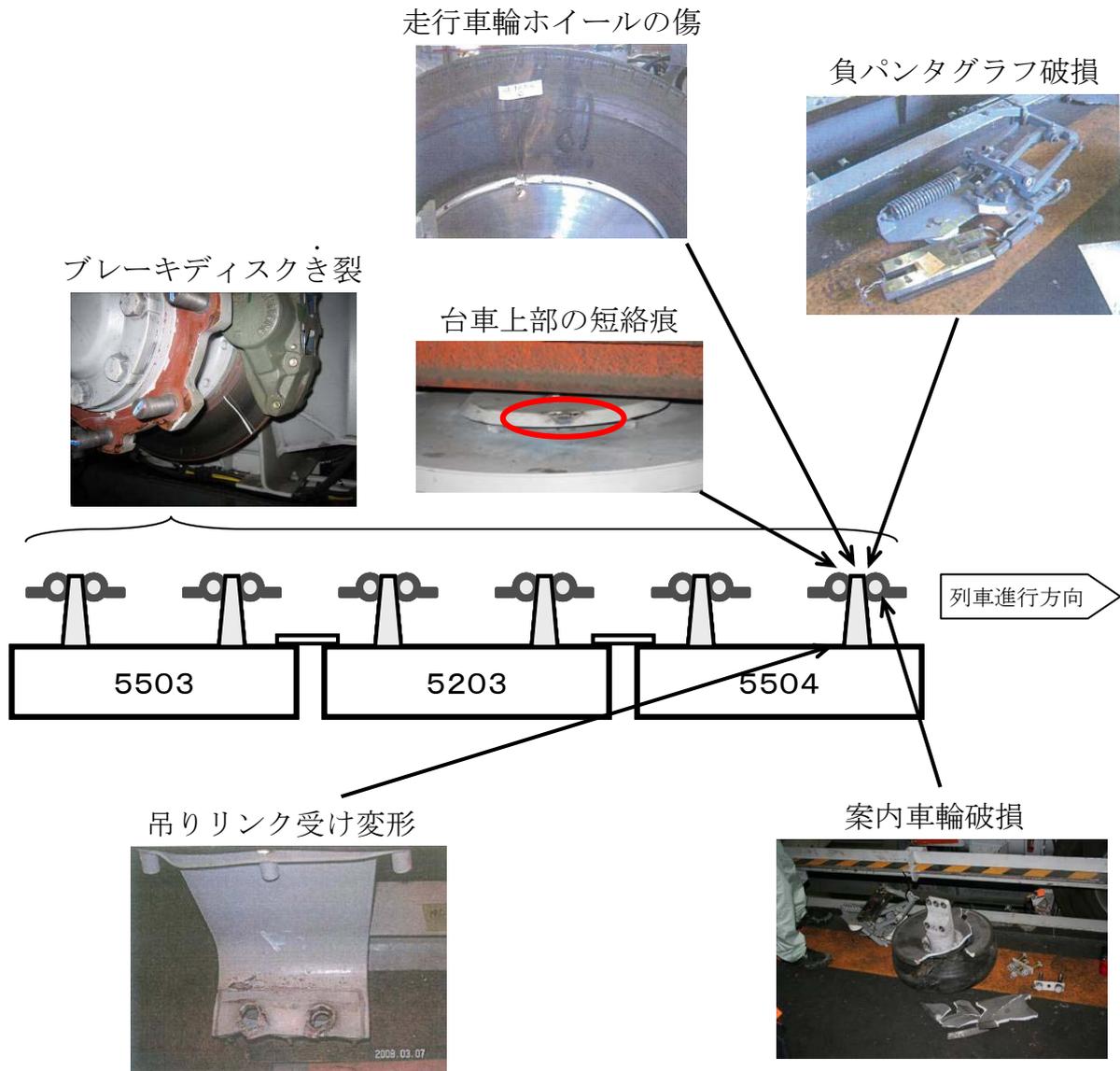
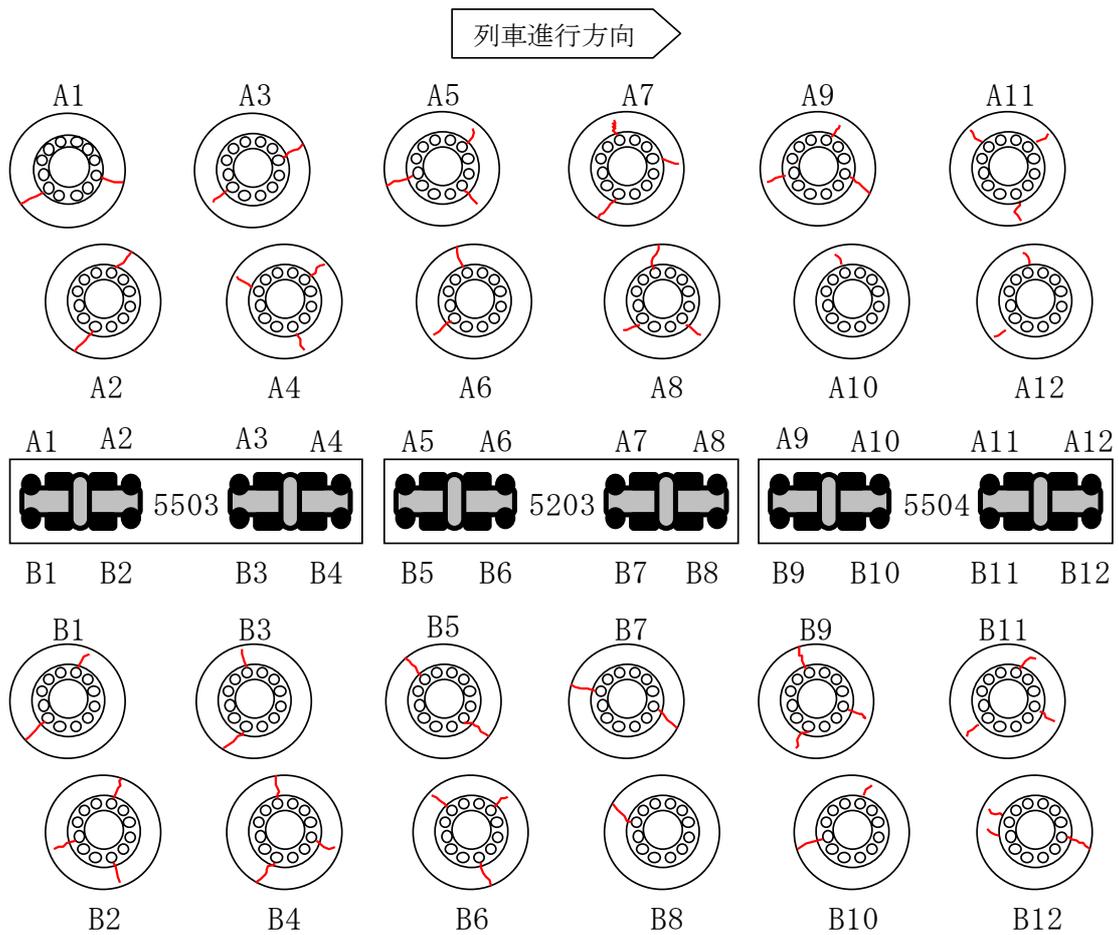
列車進行方向

A1　A3　A5　A7　A9　A11

A2　A4　A6　A8　A10　A12

A1	A2		A3	A4	A5	A6		A7	A8	A9	A10		A11	A12
		5503					5203					5504		
B1	B2		B3	B4	B5	B6		B7	B8	B9	B10		B11	B12

B1　B3　B5　B7　B9　B11

B2　B4　B6　B8　B10　B12

ブレーキディスク及びパッドに異常な磨耗は発生していない

付図１８　事故後の運転台

１両目（５５０４号）

電制スイッチ「入」

非常ブレーキ引き
スイッチ「入」
（白い部分が出ている）

ＢＣ圧約３１０kPa
（３５％乗車時の非常ブレーキ圧に相当）

保安ブレーキ「入」

マスコン「非常ブレーキ」位置

３両目（５５０３号）

電制スイッチ「切」

非常ブレーキ引き
スイッチ「切」
（白い部分が出ていない）

ＢＣ圧約３４０kPa
（８９％乗車時の非常ブレーキ圧に相当）

付図１９　はしご車による対向列車乗客の救出

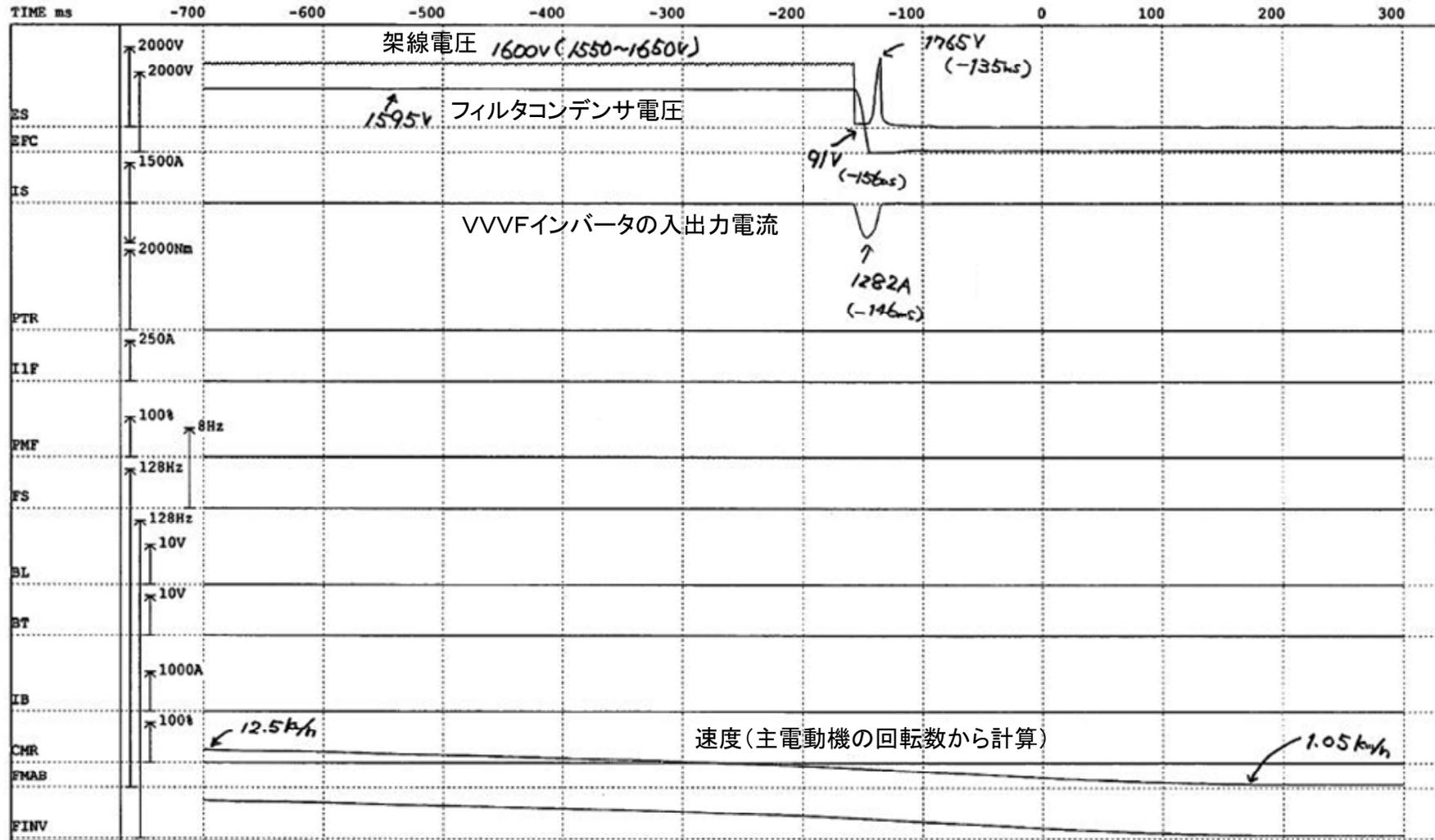
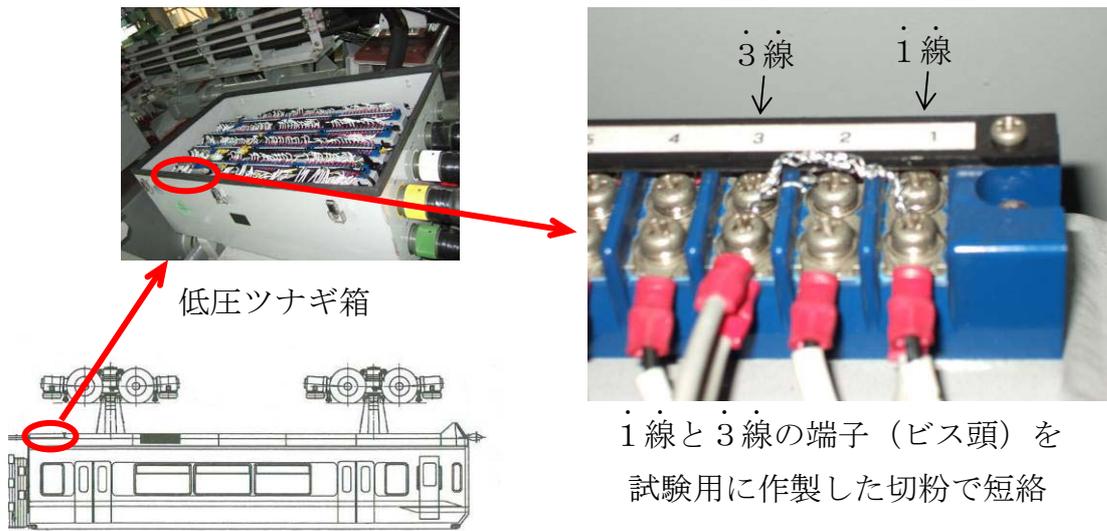
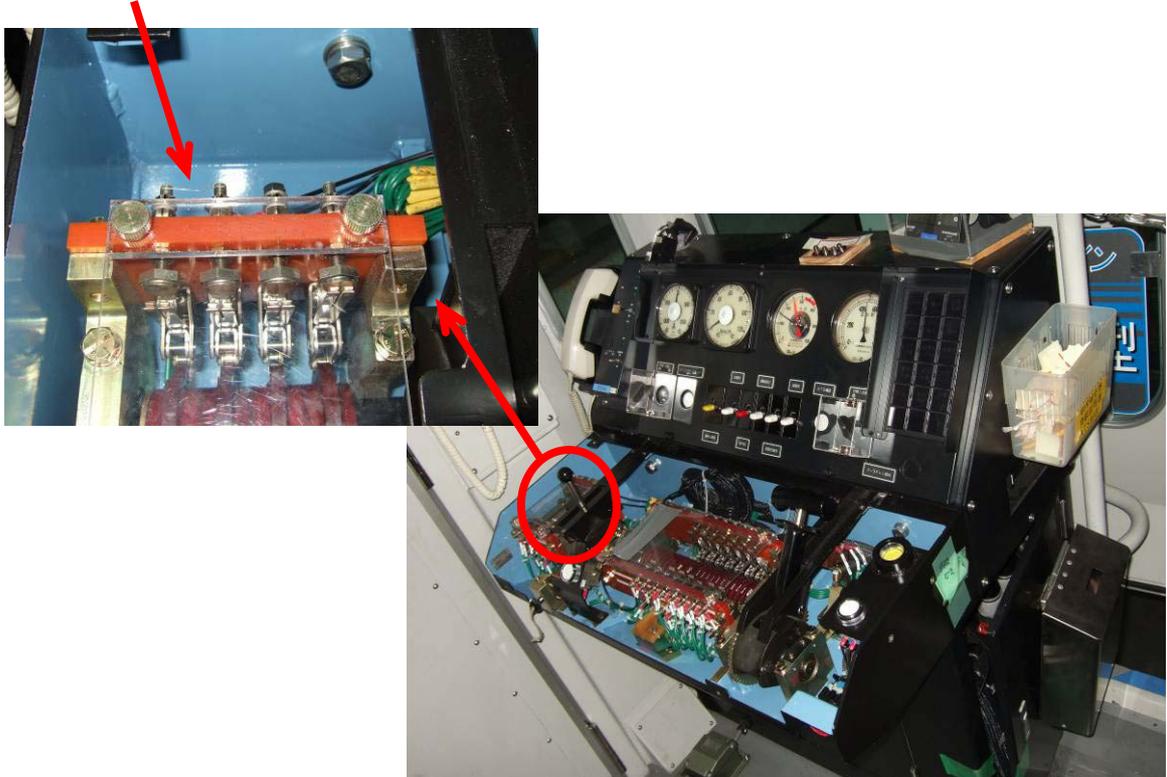
付図２０　脱出袋を使用した脱出の様子

※　事故発生後に車庫内で撮影

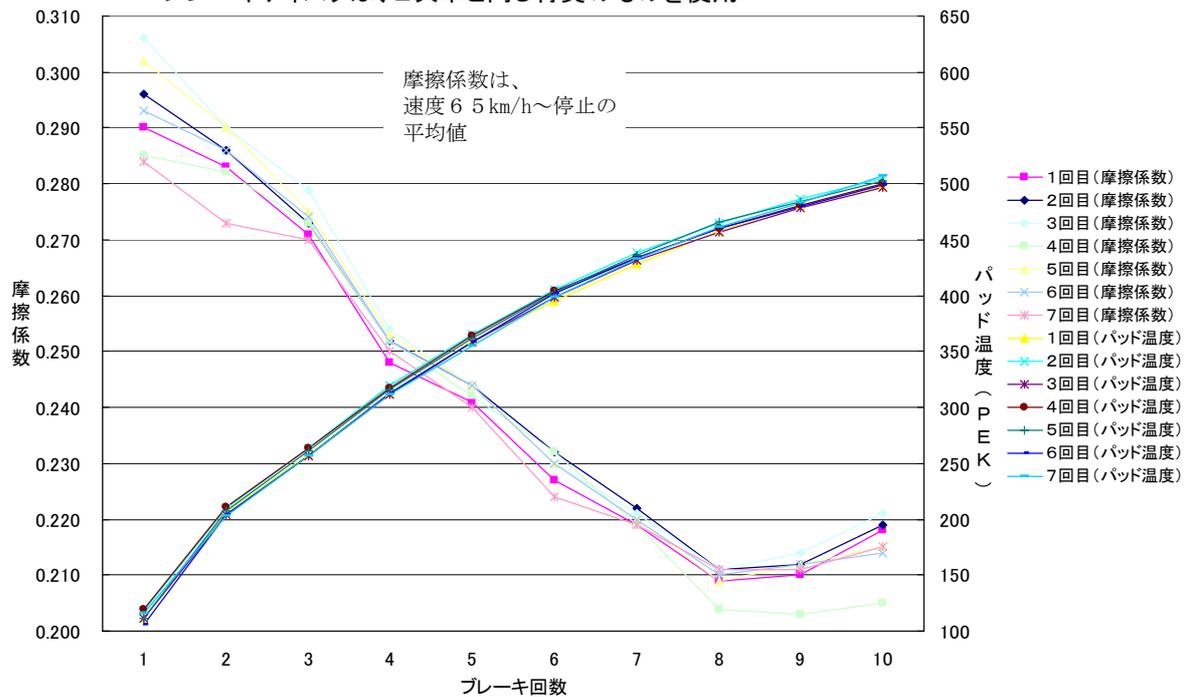
付図２１　西鎌倉駅監視カメラの映像

大船駅方カメラ

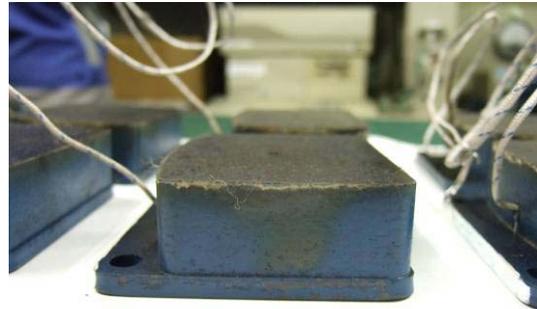
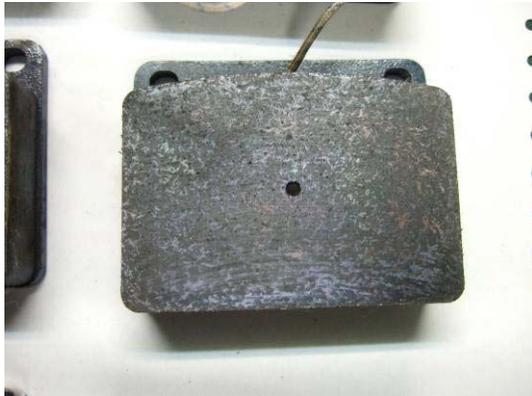
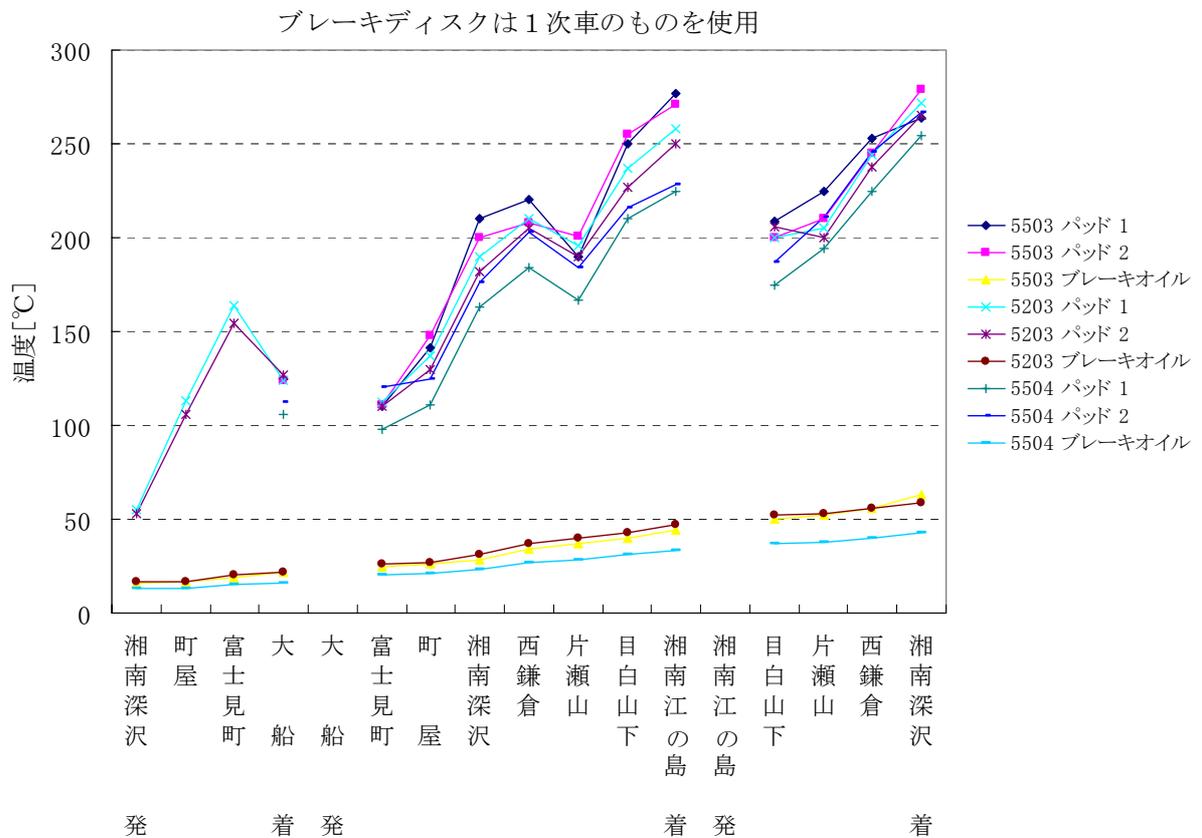
湘南江の島駅方カメラ

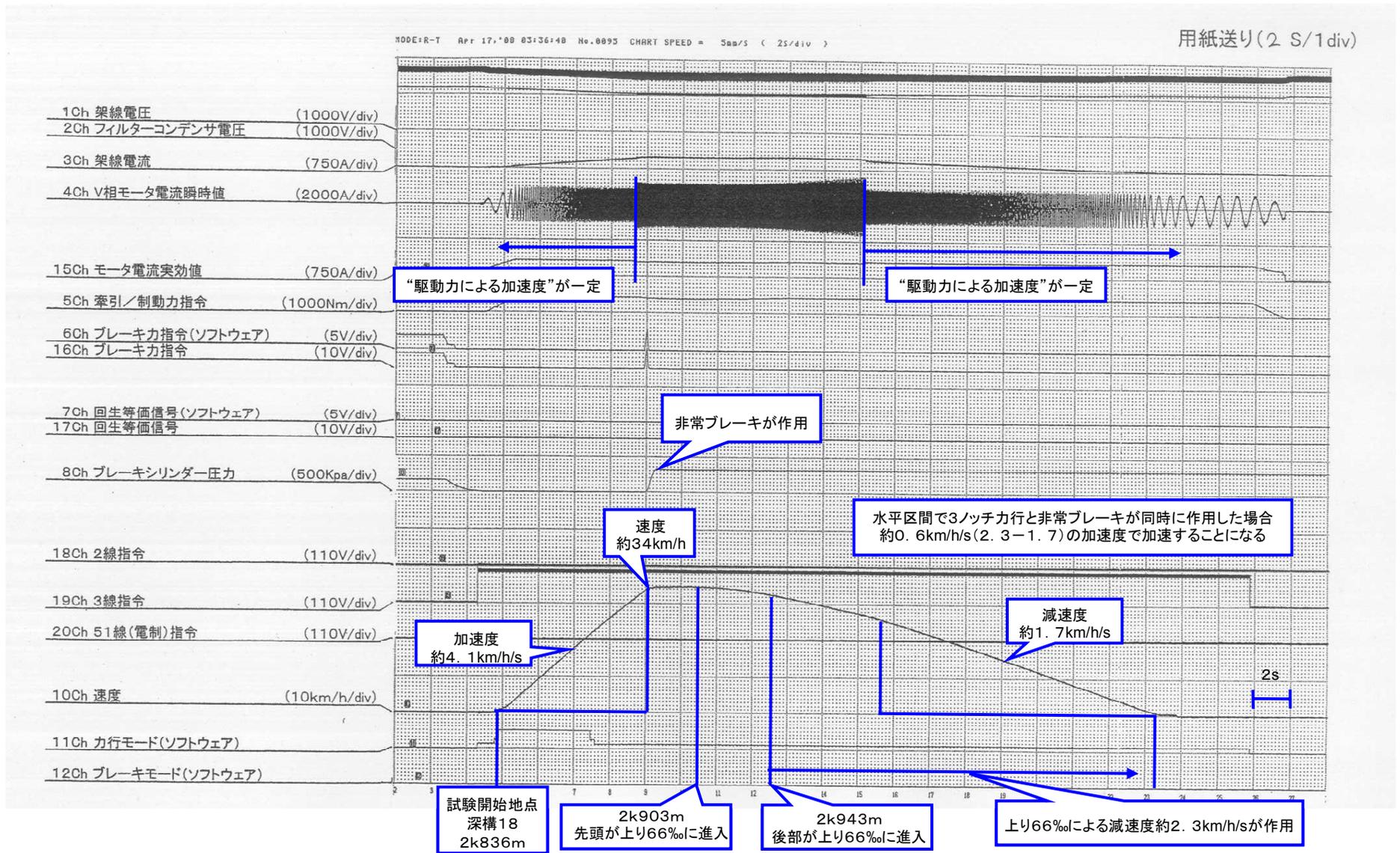
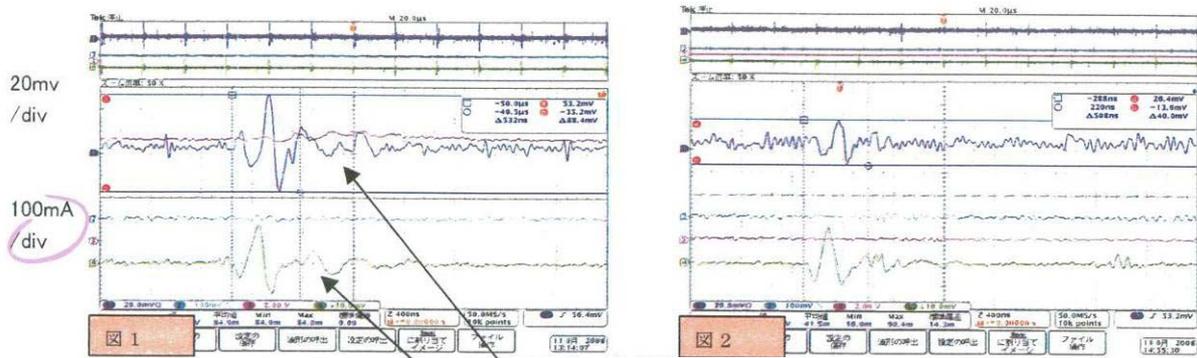
付図２２　５５０３号ＶＶＶＦインバータの重故障発生時の記録

付図２３　切粉による混触試験（低圧ツナギ箱）

付図２４　バインド線による混触試験（マスコン内部）

付図２５　ブレーキディスク試験

付図２６　温度上昇による摩擦係数の推移

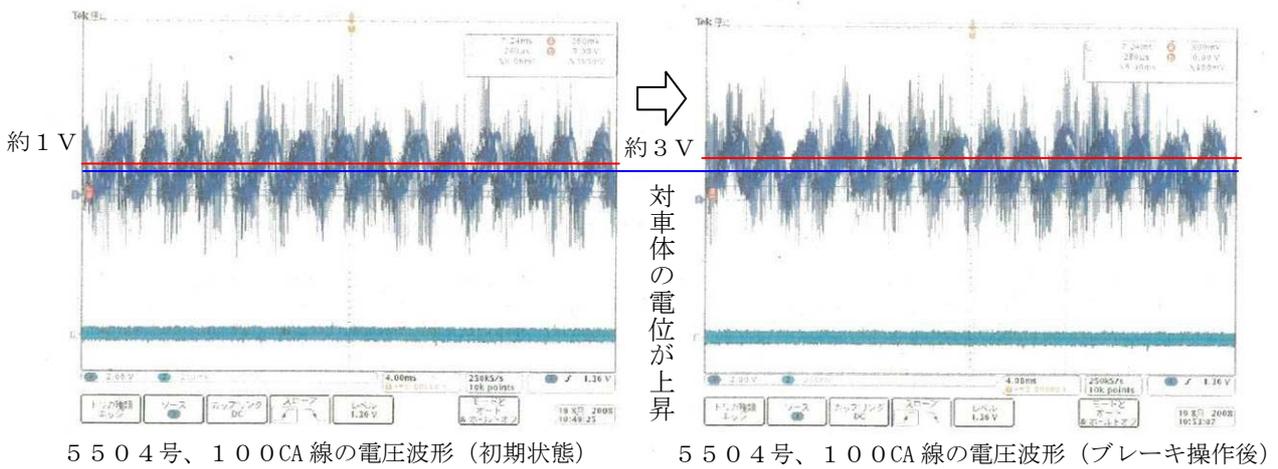
速度約65km/h 相当の回転数から、
常用ブレーキ5ステップ相当の圧力による停止の繰り返し

付図２７　ブレーキディスク試験後のパッド(約500℃まで上昇)

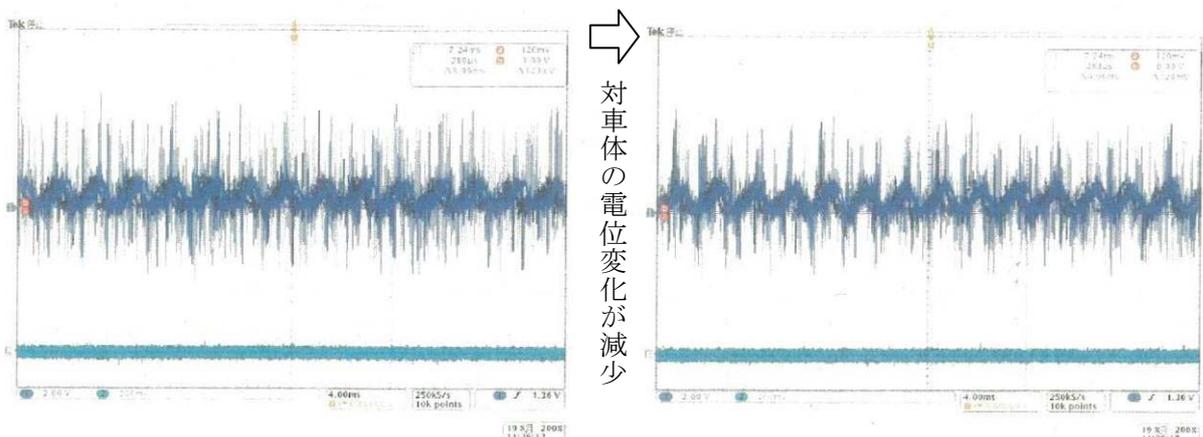
摺動面（荒れている）

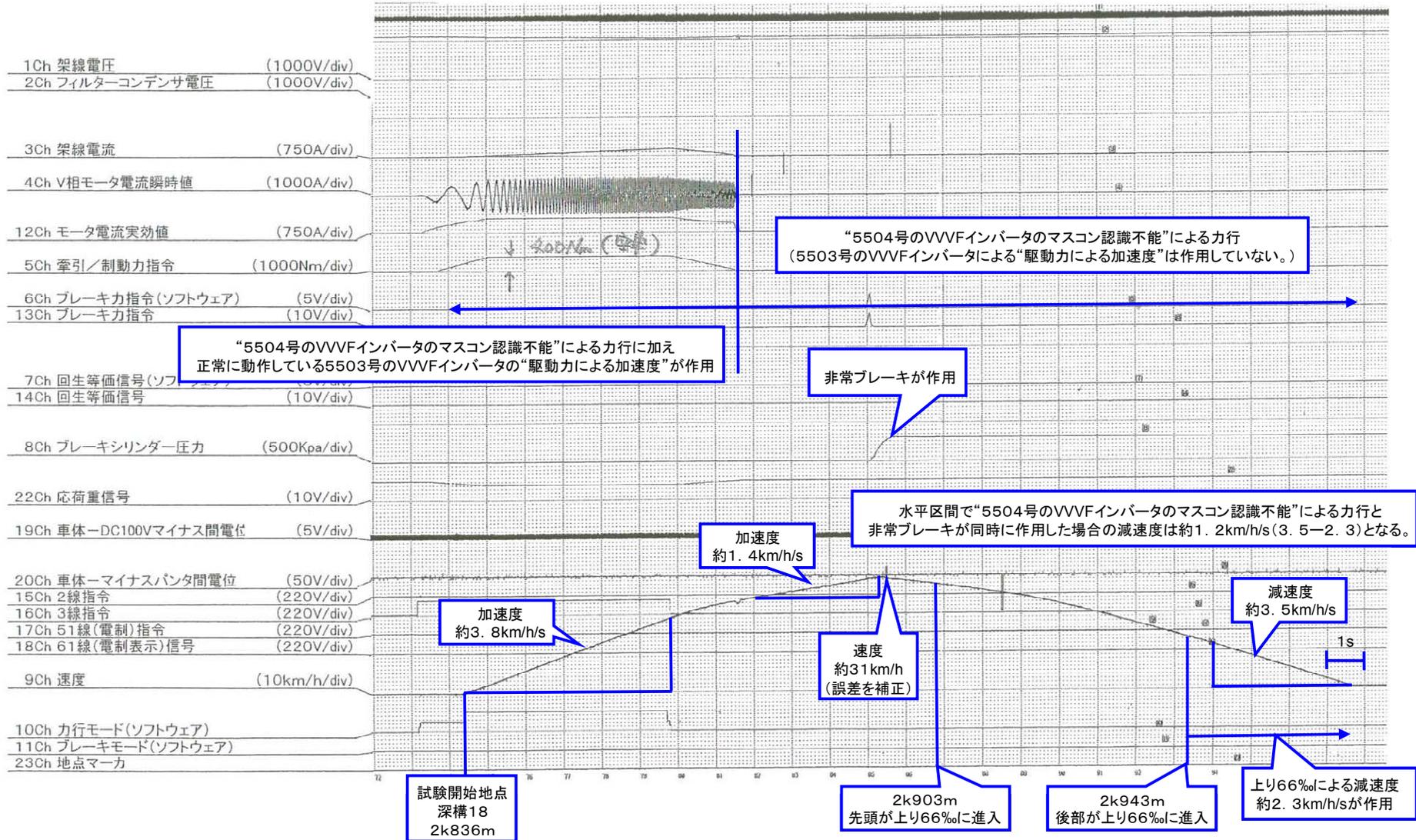
側面（塗装が変色している）

付図２８　電制スイッチを「切」として走行したときのパッド及びブレーキオイルの温度

付図２９　力行３ノッチと非常ブレーキの同時作用

付図３０　ＶＶＶＦインバータのノイズ重畳経路

付図３１　モニタ伝送回路の電圧波形とゲート電源装置筐体の車体接地線の電流波形

５５０４号　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　５５０３号

付図３２　１００ＣＡ線の電圧波形

５５０４号、１００CA 線の電圧波形（初期状態）　　５５０４号、１００CA 線の電圧波形（ブレーキ操作後）

付図３３　１００ＣＡ線の電圧波形（１００ａ線を５５０４号内で車体に接続）

５５０４号、１００CA 線の電圧波形（初期状態）　　５５０４号、１００CA 線の電圧波形（ブレーキ操作後）

付図３４　ＶＶＶＦインバータ１台の力行継続と非常ブレーキの同時作用

付図３５　Ｃ／ＤＦＴ区間の走行シミュレーション（マスコン力行なし）

付図３６　Ｃ／ＤＦＴ区間の走行シミュレーション（応荷重５０～１００％）

付図３７　Ｃ／ＤＦＴ区間の走行シミュレーション（応荷重０～５０％）